

OPTICAL PICKUP DEVICE

Publication number: JP2002140831 (A)

Publication date: 2002-05-17

Inventor(s): KITAMURA KAZUYA; KURATA YUKIO +

Applicant(s): SHARP KK +

Classification:

- international: **G02B7/00; G02B3/08; G02B13/18; G02B27/00; G11B7/095; G11B7/125; G11B7/135; G02B7/00; G02B3/08; G02B13/18; G02B27/00; G11B7/095; G11B7/125; G11B7/135; (IPC1-7): G11B7/135; G02B3/08; G02B7/00; G02B13/18; G11B7/095**

- European: **G11B7/135P4T; G02B9/12; G02B13/00M; G02B27/00K7; G11B7/135A; G11B7/135F3**

Application number: JP20000336761 20001102

Priority number(s): JP20000336761 20001102

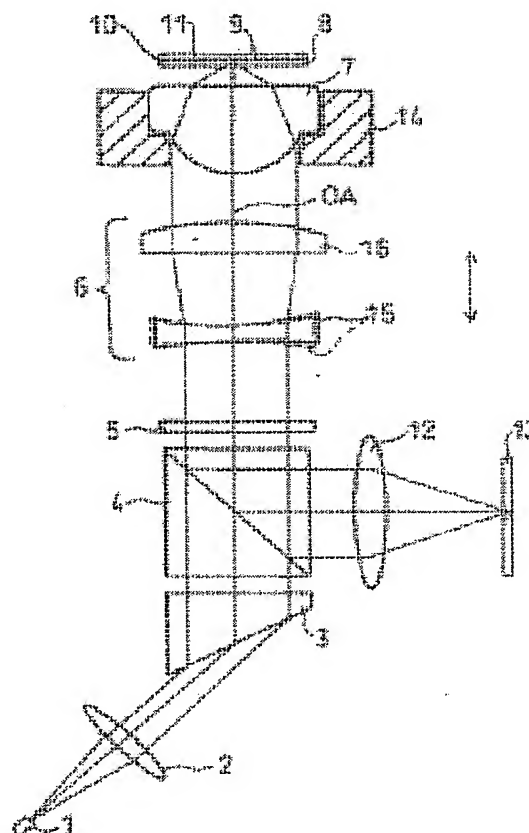
Also published as:

 US2002097504 (A1)
 US7038995 (B2)
 NL1019266 (A1)
 NL1019266 (C2)
 KR20020034955 (A)

Abstract of JP 2002140831 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical pickup device which can be made lightweight and highly reliable by using a one-group lens as the objective and correcting the coma aberration which influences the characteristics of the objective when a higher NA(Numerical Aperture) is intended.

SOLUTION: The condenser optical system comprises a one-group objective 7 having 0.75 NA and is provided with an aberration correcting optical system 6 to correct the coma aberration produced by the inclination or shift of the center axes of the both surfaces of the objective 7 or by the inclination of the objective to the recording face 9 of an optical recording medium 10.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-140831
(P2002-140831A)

(43) 公開日 平成14年5月17日 (2002.5.17)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 1 1 B 7/135		G 1 1 B 7/135	Z 2 H 0 8 7
G 0 2 B 3/08		G 0 2 B 3/08	5 D 1 1 8
	7/00	7/00	H 5 D 1 1 9
	13/18	13/18	
G 1 1 B 7/095		G 1 1 B 7/095	D
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 25 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-336761(P2000-336761)

(22) 出願日 平成12年11月2日 (2000.11.2)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 北村 和也

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(72) 発明者 倉田 幸夫

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内

(74) 代理人 100080034

弁理士 原 謙三

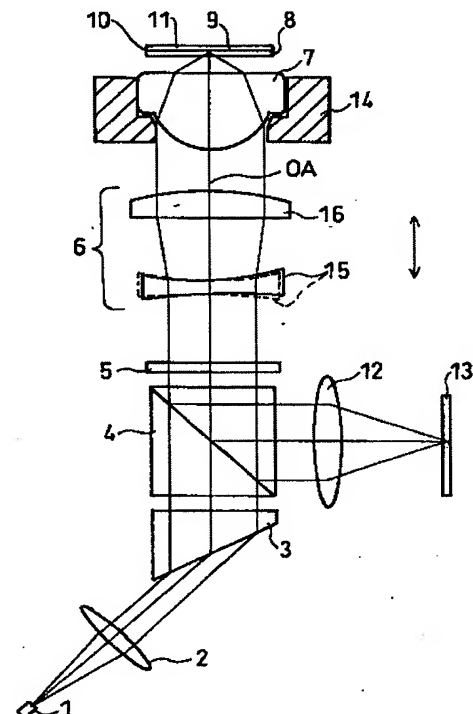
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ピックアップ装置

(57) 【要約】

【課題】 1群レンズを対物レンズとして使用し、高N A化を図った場合に、対物レンズの特性に影響を与えるコマ収差を補正することで、軽量化、高信頼性化を可能とする光ピックアップ装置を提供する。

【解決手段】 集光光学系は、開口数が0.75以上で、且つ1群構成の対物レンズ7からなり、上記対物レンズ7の両面の中心軸の傾きやずれ、あるいは上記対物レンズの光記録媒体10の記録面9に対する傾きにより発生するコマ収差を補正する収差補正光学系6が設けられている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】光源から光記録媒体に向けて出射される出射光を集光光学系により該光記録媒体に集光して情報を記録または再生する光ピックアップ装置において、

上記集光光学系は、開口数が 0.75 以上で、且つ 1 群構成の対物レンズからなり、

上記対物レンズの両面の中心軸の傾きやずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差を補正する収差補正光学系が設けられていることを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 2】上記収差補正光学系は、上記光源の出射光を集光または拡散する構成要素を、該出射光の光軸上に複数個配置して構成され、これら構成要素のうち少なくとも一つが、上記光軸に対して傾斜可能、且つ上記光軸に直交する方向に移動可能に設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の光ピックアップ装置。

【請求項 3】上記出射光の光軸上に配置された上記収差補正光学系の構成要素の一つが、上記光軸方向に移動可能に設けられていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の光ピックアップ装置。

【請求項 4】上記収差補正光学系は、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させてコマ収差を補正した状態で、該収差補正光学系の構成要素の一つを上記光軸方向に移動させることで、球面収差を補正することを特徴とする請求項 3 記載の光ピックアップ装置。

【請求項 5】上記光源からの出射光が光記録媒体に反射した反射光に基づいて、コマ収差および球面収差を検出する収差検出手段と、

上記収差検出手段により検出結果に基づいて、コマ収差を補正するように、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させ、球面収差を補正するように、構成要素の一つを上記光軸方向に移動させる構成要素駆動手段とが設けられていることを特徴とする請求項 3 記載の光ピックアップ装置。

【請求項 6】上記収差補正光学系は、構成要素として、2 枚のレンズを貼り合わせた色消しレンズが含まれていることを特徴とする請求項 1 ないし 5 の何れかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項 7】上記収差補正光学系は、構成要素として、回折光学素子が含まれていることを特徴とする請求項 1 ないし 6 の何れかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項 8】上記対物レンズは、1 枚レンズの 1 群構成であることを特徴とする請求項 1 ないし 7 の何れかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項 9】上記対物レンズは、2 枚レンズを接合した 1 群構成であることを特徴とする請求項 1 ないし 7 の何れかに記載の光ピックアップ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光記録媒体に対して、光学的に情報の記録・再生を行うための光ピックアップ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光を利用した技術は、周波数が高い（高速）、空間情報処理ができる、位相処理ができる等の多くの特徴を有しているため、通信、計測、加工などの多岐に渡る分野で研究・開発・実用化が行われている。

【0003】その技術の中で、光ビームを絞り込むために高精度の対物レンズが用いられている。このような高精度の対物レンズは、近年、特に光を利用した画像記録装置等への要求が大きく、大容量化へ向けての技術は大変重要になりつつある。

【0004】光情報記録の大容量化、すなわち記録媒体の記録密度の向上を図るには、対物レンズの該記録媒体の記録面に形成されるビームスポットの小径化、即ち対物レンズによるビームスポットの十分な絞り込みが必要である。周知のように、対物レンズによるビームスポット径は、光の波長に比例し対物レンズの NA (Numerical Aperture) に反比例する。

【0005】光の波長については、近年、青色レーザダイオードや青あるいは緑色 SHG レーザが開発されつつあり、短波長化が図られている。

【0006】一方、対物レンズの NA については、CD (Compact Disc) では NA 0.45 であるのに対して DVD (Digital Versatile Discs) では NA 0.6 となっており、高 NA 化が図られている。

【0007】これらの光の波長の短波長化や対物レンズの高 NA 化によって、記録媒体の記録密度の向上が図られている。

【0008】さらに、特開平 10-123410 号公報には、対物レンズ構成として、2 枚の対物レンズが所定の間隔を隔てて対向配置された 2 群 2 枚のレンズを用いて、NA を 0.85 とし、更なる高密度化を目指した光ピックアップ装置が開示されている。

【0009】このような 2 群レンズは、高い NA の為に、記録媒体の光透過層の厚さのばらつきや多層記録を行う際に発生する球面収差を補正する必要がある。例えば特開平 10-142494 号公報には、対物レンズ間隔を可変とすることで、球面収差を補正する技術が開示されている。また、特開 2000-131603 号公報には、例えば図 27 に示すように、2 枚のレンズ 201a・201b からなる 2 群 2 枚レンズの対物レンズ 201 の記録媒体 200 とは反対側に、2 枚のレンズ 202a・202b からなる収差補正光学系 202 を設け、レンズ 202a・202b 間を光軸 OA 方向に可変させて、対物レンズ 201 の球面収差を補正する技術が開示されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところが、2 群レンズ

を光ピックアップ装置の対物レンズとして用いた場合、以下に示すような問題が生じる。

【0011】一般に、2群レンズでは、2枚のレンズを所定の間隔で保持して支持するために鏡筒が必要となる。例えば、特開平10-123410号公報に開示された2群レンズにおいては、鏡筒等を介して一体化する際に、各々のレンズ間隔、光軸に対する傾き、中心ずれを精度良く位置決めしなければならないため、実際にレーザビームを透過してビームスポットの絞り込み状態や、収差を見ながら調整する必要がある、この工程は大変煩雑なものとなる。

【0012】また、2群レンズを鏡筒に固定する樹脂は、耐熱性、耐湿性が十分良好なものとは言えず、経時変化等特性劣化を生じ、信頼性に乏しいものとなる。

【0013】更に、光ピックアップ装置には、焦点合わせ及びトラック合わせの為にアクチュエータと呼ばれる駆動装置により、対物レンズを光軸に対して平行方向と直角方向に各々独立に移動させるための機構を有しているが、上述のような2群レンズからなる対物レンズにおいては、その一体化を行うための鏡筒も含めると重量が大きくなり、対物レンズを高速に駆動することができず、記録再生の速度を向上させることが困難となる。

【0014】そこで、2群レンズを対物レンズとして使用した場合の上述した問題を解消するために、1枚あるいは複数のレンズが密着接合して1つのレンズを構成した1群レンズを対物レンズとして使用して、軽量化、高信頼性化を図ることが考えられる。

【0015】ところが、1群レンズの対物レンズでは、製造公差による収差、すなわち対物レンズ両面の間隔誤差や面精度、及び対物レンズ両面のチルト（傾き）、シフト（芯ずれ）によるコマ収差から特性の劣化が見られるが、NAが0.6程度であれば、上記のようなコマ収差の影響を殆ど受けない。

【0016】しかしながら、1群レンズの対物レンズにおいて、上述の2群レンズの対物レンズのようにNAを0.85にするような高NA化を図った場合、製造公差によるコマ収差の影響を受けて、対物レンズの特性が大きく劣化するという問題が生じる。

【0017】また、コマ収差は、対物レンズの光記録媒体の記録面に対する傾きによっても発生する。

【0018】本発明は、上記の各問題点を解決するためになされたもので、その目的は、1群レンズを対物レンズとして使用し、高NA化を図った場合に、対物レンズの特性に影響を与えるコマ収差を補正することで、軽量化、高信頼性化を可能とする光ピックアップ装置を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の光ピックアップ装置は、上記の課題を解決するために、光源から光記録媒体に向けて出射される出射光を集光光学系により該光

記録媒体に集光して情報を記録または再生する光ピックアップ装置において、上記集光光学系は、開口数が0.75以上で、且つ1群構成の対物レンズからなり、上記対物レンズの両面の中心軸の傾きやずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差を補正する収差補正光学系が設けられていることを特徴としている。

【0020】上記の構成によれば、収差補正光学系により、上記開口数が0.75以上の対物レンズの両面の上記記録媒体に対する傾きや中心軸のずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差が補正されるので、対物レンズのコマ収差による特性劣化をなくすることができる。

【0021】これにより、開口数が0.75以上の対物レンズであっても、コマ収差による特性劣化の影響がないので、この高開口数の1群構成の対物レンズを光ピックアップ装置に使用すれば、高い記録密度を実現しながら、温度変化、湿度変化、経時変化に強く、高信頼性化を図ることができる。

【0022】また、2群構成の対物レンズのように組立工程がないことから、生産性に優れローコスト化が容易であり、対物レンズを小型・軽量にかつ剛性高く構成することができるので、高密度記録再生を高速で行うことが可能になる。

【0023】上記収差補正光学系は、光源の出射光を集光または拡散する構成要素を、該出射光の光軸上に複数個配置して構成され、これら構成要素のうち少なくとも一つが、上記光軸に対して傾斜可能、且つ上記光軸に直交する方向に移動可能に設けられていてもよい。

【0024】この場合、収差補正光学系を構成する少なくとも一つの構成要素が光軸に対して傾斜し、さらに光軸に直交する方向に移動することにより、対物レンズに照射される光源からの出射光の照射状態を調整することができるので、対物レンズの両面の中心軸の傾きやずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差を補正することができる。

【0025】また、上記収差補正光学系の構成要素の一つが、上記光軸方向に移動可能に設けられていてもよい。

【0026】この場合、収差補正光学系の一つの構成要素が光軸方向に移動することにより、対物レンズに照射される光源からの出射光の集光状態を調整することができるので、対物レンズ両面の間隔誤差や面精度により発生する球面収差を補正することができる。

【0027】また、上記収差補正光学系は、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させることでコマ収差を補正した状態で、該収差補正光学系の構成要素の一つを上記光軸方向に移動させることで、球面収差を補正するようにしてもよ

い。

【0028】この場合、収差補正光学系では、コマ収差の補正は、球面収差の補正の前に行われることになる。

【0029】これにより、例えば、コマ収差の補正を、光ピックアップ装置の光記録再生装置等の機器への組み込み前に行うことで、光記録再生装置等の機器を使用する際には、球面収差のみを行えばよいので、コマ収差用の回路等の構成部材を機器内に設ける必要がない。したがって、機器の小型、軽量化を図ることができる。

【0030】さらに、上記光源からの出射光が光記録媒体に反射した反射光に基づいて、コマ収差および球面収差を検出する収差検出手段と、上記収差検出手段により検出結果に基づいて、コマ収差を補正するように、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させ、球面収差を補正するように、構成要素の一つを上記光軸方向に移動させる構成要素駆動手段とを設けてもよい。

【0031】この場合、コマ収差および球面収差を検出して、この検出結果に基づいて、コマ収差を補正するように、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させ、球面収差を補正するように、構成要素の一つを上記光軸方向に移動させるようになっているので、光ピックアップ装置を実際の光記録媒体に対する情報の記録・再生に使用している場合に、リアルタイムでコマ収差および球面収差を補正することができる。

【0032】また、上記収差補正光学系は、構成要素として、2枚のレンズを貼り合わせた色消しレンズを含んでいてもよい。

【0033】この場合、対物レンズに入射する光の波長が変化しても、像点の移動が小さく、安定したサーボ信号と良い特性の読み出し信号を得ることができる。

【0034】また、上記収差補正光学系は、構成要素として、回折光学素子を含んでいてもよい。

【0035】この場合、対物レンズに入射する光の波長が変化しても、像点の移動がほとんど無く、安定したサーボ信号と良い特性の読み出し信号を得ることができる。

【0036】また、上記対物レンズは、1枚レンズの1群構成であってもよい。

【0037】この場合、従来の2枚組対物レンズに比較して、樹脂接合部を持たないことで、温度変化、湿度変化、経時変化に強く、高い信頼性を持つ。また、組立工程がないことから、生産性に優れローコスト化が容易である。また、対物レンズを小型・軽量にかつ剛性高く構成することができるので、高密度記録再生を高速で行うことが可能になる。

【0038】さらに、上記対物レンズは、2枚レンズを接合した1群構成であってもよい。

【0039】この場合、色収差を低減しかつ温度変化、

湿度変化、経時変化に強く、高い信頼性を持ち、高密度記録再生を高速で行うことが可能になる。

【0040】

【発明の実施の形態】〔実施の形態1〕本発明の実施の一形態について説明すれば、以下の通りである。

【0041】本実施の形態に係る光ピックアップ装置は、図1に示すように、光源であるLD1、コリメータレンズ2、整形プリズム3、偏光ビームスプリッタ4、1/4波長板5、収差補正光学系6、対物レンズ7、集光レンズ12、受光部13、レンズホルダー14からなり、光記録媒体10に対して光ビームを集光させることにより情報の記録・再生を行うものである。

【0042】すなわち、上記構成の光ピックアップ装置では、光源であるLD1より発した直線偏光のレーザ光は、コリメータレンズ2で平行光束にされ整形プリズム3に入射される。整形プリズム3は、LD1を出射したレーザ光の強度分布が楕円形であるため、円形に近いものに整形するためのものである。

【0043】上記整形プリズム3により光の強度分布が円形に整形されたレーザ光は、その後、偏光ビームスプリッタ4を透過し、1/4波長板5で円偏光に変換され、収差補正光学系6に入射、45度ミラー（図示しない）で光線を立ち上げた後、対物レンズ7で絞られ光記録媒体10を構成する光透過層8を通して、記録面9にビームスポットを結ぶ。

【0044】上記光記録媒体10は、図2に示すように、光透過層8、記録面9、基板11からなり、光透過層8の厚さの中心値は、0.1mmである。

【0045】また、上記光記録媒体10の記録面9で反射（変調）された光は、図1に示す前記経路を逆に辿る。つまり、対物レンズ7、収差補正光学系6を透過した反射光は、1/4波長板5により直線偏光に戻り、（この時偏光方向は、往きと帰りで90度回転しているため）偏光ビームスプリッタ4で略直角に曲げられ、集光レンズ12を通して受光部13に入射する。

【0046】上記光ピックアップ装置の対物レンズ7は、図1に示すように、レンズホルダー14に固着され、このレンズホルダー14は、4本のワイヤー（図示しない）で、該光ピックアップ装置を構成する筐体（図示しない）に固定されている。

【0047】ここで、上記収差補正光学系6の構成について、図3を参照しながら以下に説明する。

【0048】収差補正光学系6は、レンズ2枚の2群構成であり、LD側を収差補正第1レンズ（構成要素）15、光記録媒体10側を収差補正第2レンズ（構成要素）16とすると、収差補正第1レンズ15は負の屈折力の非球面レンズ、収差補正第2レンズ16は正の屈折力の非球面レンズであり、共に単レンズである。そして、上記収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16は、LDから光記録媒体10に向かって出射される

出射光の光軸OA上に配されている。

【0049】表1に、対物レンズ7及び収差補正光学系6の光学構成を示す。

【0050】但し、表1に示す非球面係数については、次式に表す関係を有するものとする。

$$Z = (1/r) y^2 / \{1 + (1 - (1+K) (1/r)^2 y^2)^{1/2}\} + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + E y^{12} + F y^{14} + G y^{16} + H y^{18} + J y^{20}$$

(ここで、Zは面頂点を基準にした光軸方向の深さ、y*

*は光軸からの高さ、rは近軸曲率半径、Kは円錐定数、A、B、C、D、E、F、G、H、Jは非球面係数である。)

また、表1中の面番号S1からS7は、図3に示すように、各レンズの面および光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ7の対向面を示している。

【0051】

【表1】

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッペ数
収差補正第1レンズ	S1	-9.43233	1.0	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
		K:-6.092373 A:0.164522E-02 B:0.165341E-02 C:0.237202E-02 D:-0.831718E-03			
	S2	4.96737	3.98		
収差補正第2レンズ	S3	-37.75778	1.0	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
	S4	-5.07138	5.0		
		K:-0.107492 A:0.113991E-03 B:0.756886E-04 C:0.961254E-06 D:0.453347E-05			
絞り	ST0	infinity	0		
対物レンズ	S5	1.4792	2.3	nd=1.81474	$\nu d=37.0$
		K:-0.486800 A:0.368610E-02 B:-0.131835E-03 C:0.188556E-02 D:-0.309584E-02 E:0.219847E-02 F:-0.588395E-03 G:-0.840131E-04 H:0.434856E-04 J:-0.146533E-05			
	S6	28.0979	0.44		
		K:0.000000 A:0.103679E+00 B:-0.190848E+00 C:-0.926785E-01 D:0.287996E+00 E:0.195929E+00 F:-0.393015E+00 G:-0.208769E-03 H:0.568055E-01 J:-0.117780E-03			
光透過層	S7	infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0052】上記対物レンズ7は、NA0.85で平行光束が入射し(いわゆる無限共役)、光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、1.852である。

【0053】また、対物レンズ7の有効光束径はφ3で、焦点距離は、1.763mmである。

【0054】次に、異なる光透過層厚さに対する、収差補正光学系6の構成について説明する。

【0055】例えば、多層記録媒体等で、光透過層8の厚さが、0.08mm、0.1mm及び0.12mmの3種類の厚さに対して記録再生を行うことが必要な場合、収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16の間隔を変化させる事により記録面9上で最小の球面収差量にすることが可能となる。前記光透過層の厚さに対する収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16の中心間隔は表2に示すとおりである。

【0056】

【表2】

光透過層厚さ	0.08mm	0.1mm	0.12mm
収差補正第1レンズと第2レンズの中心間隔	4.415mm	3.979mm	3.611mm

【0057】次に、対物レンズ7の製造誤差から発生する収差をどのように補正するかを説明する。

【0058】まず、対物レンズ7の製造公差について考える。モールド時の金型の位置合わせ精度、レンズ材料(プリフォーム)の重量(体積)精度、金型の加工精度等考慮すると、レンズ厚さは、±5μm程度、レンズの両面のシフトは、±5μm程度、レンズの両面のチルトは、±2分程度ばらつくと考えられ、これが対物レンズ7の製造公差となる。即ち、この範囲の誤差が生じた場合においても、特性の劣化が最小限に抑えられた光学系の設計を行う必要がある。

【0059】一方、光ピックアップ装置においては、光記録媒体10の記録面9上でのビームスポットの収差が、波面のr.m.s.値で0.07λ(Marechal Criteria)以下であれば、十分絞り込んだ良好なビームとなる。この許容収差を光学部品に配分すると、対物レン

ズ7及び収差補正光学系6においては、 0.03λ 程度の収差に抑える必要があり、これが規定値となる。

【0060】これを実現するために、本発明のピックアップ装置においては、対物レンズ7を1群若しくは1枚とし、収差補正光学系6を有し、収差補正光学系6を構成するいずれかのレンズ（収差補正第1レンズ15、収差補正第2レンズ16）を光軸OA方向に可動とし、さらに、チルト及びシフトさせる構成としている。なお、収差補正光学系6の収差補正第1レンズ15、収差補正第2レンズ16を駆動させることによる対物レンズ7の収差補正制御の詳細については後述する。

【0061】まず、対物レンズ7の厚さ誤差から発生する球面収差については、収差補正光学系6の収差補正第1レンズ15、収差補正第2レンズ16のレンズ間隔を変化させることで補正可能である。つまり、収差補正光学系6の何れかのレンズを光軸OA方向に移動させることにより対物レンズ7の球面収差を補正する。

【0062】ここで、対物レンズ7の厚さ誤差が、設計値に対して $-10\mu\text{m}$ から $+10\mu\text{m}$ となったときに、収差補正光学系6がない場合の収差値と、収差補正第1
20 レンズ15と収差補正第2レンズ16の中心間隔を変化させて補正したときの収差値を図4に示す。なお、前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ7のレンズ厚さ誤差は、金型の合わせ誤差、加工誤差により $\pm 5\mu\text{m}$ 程度発生するものとする。

【0063】図4に示すグラフから、収差補正光学系6がない場合（グラフでは補償無しの場合）、収差の規定値である 0.03λ となるのは、レンズ厚さ誤差が $\pm 2\mu\text{m}$ のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ厚さ誤差 $\pm 2\mu\text{m}$ は、前記製造公差 $\pm 5\mu\text{m}$ と比較すると到底製造
30 できないものである。

【0064】一方、収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16の中心間隔を変化させて補正した場合（グラフでは補償有りの場合）、レンズ厚さ誤差が $\pm 7\mu\text{m}$ まで許容でき、前記製造公差 $\pm 5\mu\text{m}$ と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0065】次に、対物レンズ7の面チルト（対物レンズ両面の中心軸の傾き）から発生するコマ収差については、収差補正第1レンズ15または収差補正第2レンズ
40 16のどちらか一方を、シフトまたはチルトさせることで補正可能である。

【0066】ここで、対物レンズ7の面チルト誤差が、設計値に対して -5 分から $+5$ 分となったときに、収差補正光学系6がない場合の収差値と、収差補正第1レンズ15のチルト量を変化させて補正したときの収差値、及び収差補正第1レンズ15のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときの収差値を図5に示す。なお、前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ7の面チルト誤差は、金型の合わせ誤差、加
50

工誤差により ± 2 分程度発生するものとする。

【0067】図5に示すグラフから、収差補正光学系6がない場合（グラフの補償なしの場合）、収差の規定値である 0.03λ となるのは、レンズ面チルト誤差が ± 0.5 分のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面チルト誤差 ± 0.5 分は、レンズの製造公差 ± 2 分と比較すると到底製造できないものである。

【0068】一方、収差補正第1レンズ15のチルト量を変化させて補正した場合（グラフの補償有り、チルトの場合）、レンズ面チルト誤差が ± 2.5 分まで許容でき、レンズの製造公差 ± 2 分と比較すると製造可能なものになっていることがわかる。更に、収差補正第1レンズ15のチルト量とシフト量を共に変化させて補正した場合（グラフの補償有り、チルト、シフトの場合）、対物レンズ7の面チルト誤差が ± 5 分まで許容でき、レンズの製造公差 ± 2 分と比較すると製造が容易なものになっていることが分かる。

【0069】続いて、対物レンズ7の面シフト（対物レンズ両面の中心軸のずれ）から発生するコマ収差については、収差補正第1レンズ15または収差補正第2レンズ16のどちらか一方を、シフト及びチルトさせることで補正可能である。

【0070】ここで、対物レンズ7の面シフトが、設計値に対して $-10\mu\text{m}$ から $+10\mu\text{m}$ となったときに、収差補正光学系6がない場合の収差値と、収差補正第1レンズ15のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときの収差値を図6に示す。なお、前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ7の面シフト誤差は、金型の合わせ誤差、加工誤差により $\pm 5\mu\text{m}$ 程度発生するものとする。

【0071】図6に示すグラフから、収差補正光学系6がない場合（グラフの補償なしの場合）、収差の規定値である 0.03λ となるのは、レンズ面シフト誤差が $\pm 4\mu\text{m}$ のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面シフト誤差 $\pm 4\mu\text{m}$ は、対物レンズ7の製造公差 $\pm 5\mu\text{m}$ と比較すると到底製造できないものである。

【0072】一方、収差補正第1レンズ15のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときは、対物レンズ7の面シフト誤差が $\pm 6\mu\text{m}$ まで許容でき、対物レンズ7の製造公差 $\pm 5\mu\text{m}$ と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0073】なお、対物レンズ7の面のチルトから発生するコマ収差については、光記録媒体10を傾ける、例えば、光記録媒体10を回転させるモーターの軸を傾けることでも補正可能である。

【0074】ここで、対物レンズ7の面チルトが、設計値に対して -10 分から $+10$ 分となったときに、光記録媒体を傾けなかった場合の収差値と、光記録媒体の傾

きを変化させて収差を補正したときの収差値を図7に示す。なお、前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズの面チルト誤差は、金型の合わせ誤差、加工誤差により±2分程度発生するものとする。

【0075】図7に示すグラフから、光記録媒体10を傾けなかった場合（グラフの補償無しの場合）、収差の規定値である0.03λとなるのは、レンズ面チルト誤差が±0.5分のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面チルト誤差±0.5分は、対物レンズ7の製造公差±2分と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0076】一方、光記録媒体10の傾きを変化させて収差を補正した場合（グラフの補償有りの場合）、対物レンズ7の面チルト誤差が±7.5分まで許容でき、対物レンズ7の製造公差±2分と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0077】この様に、本実施の形態においては、NAが0.85と高いNAの対物レンズ7を、1枚のレンズ、すなわち1群レンズで達成するために、対物レンズ7の収差を補正する収差補正光学系6を具備するものである。

【0078】上記収差補正光学系6は、負の屈折力である収差補正第1レンズ15と正の屈折力である収差補正第2レンズ16との間隔を可変とすることで、対物レンズ7のレンズ厚誤差、光記録媒体10の光透過層8の厚さばらつき、さらに、多層記録に対応している。

【0079】また、上記収差補正光学系6は、収差補正第1レンズ15若しくは収差補正第2レンズ16にシフト或いはチルトを与えることにより、対物レンズ7の製造誤差により発生したコマ収差を補正することが可能となる。

【0080】上記収差補正光学系6は、駆動装置（図8参照）上に搭載され、再生信号のジッタ、エンベロープ、又は別途収差を検出する手段により、最適な収差補正光学系6の配置を求め随時制御するものであり、光記録媒体10の傾き・形状ばらつきや、トラッキングの際に生じる対物レンズ7のトラック巾方向のシフト等に起因するコマ収差を検知し、収差補正光学系6のチルト或いはシフトを動的に制御し、最適な特性を得ることが可能となる。

【0081】上記収差補正光学系6を動的に制御する方法、すなわち光記録媒体10の再生中に球面収差およびコマ収差を補正（調整）する方法について、図8を参照しながら以下に説明する。図8では、図1と同じ構成の光ピックアップ装置に、収差補正光学系6を構成する収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16とを駆動させるための駆動制御機構150が付加された状態を示している。

【0082】上記駆動制御機構150は、収差補正第1レンズ15を搭載するアクチュエータ151、収差補正

第2レンズ16を搭載するアクチュエータ152を備えている。

【0083】上記アクチュエータ151は、収差補正第1レンズ15の円周方向にほぼ均等間隔に配置された3つのVCM（Voice Coil Motor）によって構成されている。この3つのVCMの可動量を各々制御することにより収差補正第1レンズ15のチルト量を制御するようになっている。

【0084】また、上記アクチュエータ152は、収差補正第2レンズ16を光軸OA方向の1軸に駆動するように構成されている。これにより、収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16との間隔を可変にすることができる。

【0085】上記アクチュエータ151は、アクチュエータ制御回路153に接続され、コントローラ155を介してコマ収差補正回路156に接続されている。また、アクチュエータ152は、アクチュエータ制御回路154に接続され、コントローラ155を介して球面収差補正回路157に接続されている。

【0086】上記コマ収差補正回路156および球面収差補正回路157は、受光部13に接続されたRF信号処理回路158に接続されている。

【0087】例えば、光記録媒体10を再生中には、受光部13が検知する光信号に応じてRF信号処理回路158においてRF信号が検出される。このRF信号は、分岐されコマ収差補正回路156と球面収差補正回路157とに入力され、このRF信号の入力量に応じて、コマ収差については収差補正第1レンズ15を、球面収差については収差補正第2レンズ16を、適正位置に移動させるために、各々のアクチュエータ制御回路153および154によりアクチュエータ151および152にその移動量に応じた信号が送られる。これにより、RF信号検出中においても、球面収差及びコマ収差の補正が可能となり、良好な信号を得ることができる。

【0088】上記のコマ収差補正および球面収差補正の制御は、動的制御、すなわち光記録媒体10の記録再生時にコマ収差補正および球面収差補正の制御を行う場合について説明したが、その他の制御としては、静的制御、すなわち予め収差補正光学系6の光ピックアップ装置への組み付け時に該収差補正光学系6の位置を調整し固定する制御が考えられる。この場合、実際に対物レンズ7により絞り込まれたビーム形状或いは収差を観察・検出しながら調整することが望ましく、その具体的な方法について、図9を参照しながら以下に説明する。なお、図9は、図1に示す光ピックアップ装置の構成に、レンズの姿勢を調整するための姿勢調整装置が付加されたものである。

【0089】ここでは、光ピックアップ装置への収差補正光学系6の組み付けの時に、球面収差およびコマ収差を補正するように、上記レンズ調整機構によって収差補

正第1レンズ15を調整する方法について説明する。

【0090】上記姿勢調整装置は、収差補正第1レンズ15を保持するレンズホルダー161と、このレンズホルダー161を固定するためのxyzステージ162、 θx ステージ163、 θy ステージ164が重ねて一体化されたレンズ調整台165と、対物レンズ7のレーザー光の出射側に配置された調整用ダミー透過板166と、該調整用ダミー透過板166を透過したレーザー光の集光スポットを観察するための観察用レンズ167と、CCD (Charge Coupled Device)カメラ168と、観察用レンズ167とCCDカメラ168とで撮影された映像を表示するテレビモニター169とで構成されている。ここで、調整用ダミー透過板166の厚さは、光記録媒体10の光透過層8と同じ0.1mmとする。

【0091】すなわち、上記構成の姿勢調整装置では、収差補正光学系6の収差補正第1レンズ15は、レンズホルダー161によって図中のx方向、y方向、z方向に直線移動すると共に、 θx 方向、 θy 方向に回転(チルト)移動させることで、収差補正第1レンズ15の姿勢調整を可能にしている。

【0092】具体的に説明すると、図9において、LD1から出射されたレーザー光は、コリメータレンズ2、整形プリズム3、偏光ビームスプリッター4、1/4波長板5、収差補正第1レンズ15、収差補正第2レンズ16、対物レンズ7、調整用ダミー透過板166を透過して、観察用レンズ167のレンズ面にビームスポットを結ぶ。そして、このビームスポットの形状を、CCDカメラ168を介してテレビモニター169に表示させて、観察者はこのテレビモニター169を見ながら収差補正第1レンズ15の姿勢を調整する。

【0093】つまり、姿勢調整時は、LD1を発光させた状態で、対物レンズ7により絞り込まれたビームスポットをテレビモニター169により観察し、その大きさ、形状から、コマ収差が最小になるようにレンズ調整台165の各ステージ162~164で収差補正第1レンズ15をx方向、y方向、 θx 方向、 θy 方向に調整する。

【0094】この時、対物レンズ7に残存するコマ収差量および球面収差量を補正するために最適な収差補正第1レンズ15のチルト量およびシフト量、収差補正第1レンズ15と収差補正第2レンズ16との間隔を予め形成しておくことにより、より迅速な調整が可能となる。

【0095】また、ビームスポットの形状を観察する代わりに、マッハツェンダー干渉計等を用いて、ビームスポットの波面収差を直接測定してもよい。

【0096】以上のように、収差補正光学系6の収差補正第1レンズ15をx方向、y方向、 θx 方向、 θy 方向に調整するように姿勢調整を行って、コマ収差を予め収差補正光学系6の光ピックアップ装置への組み付け時に除去することで、図10に示すように、図8で示した

収差補正第1レンズ15をチルトあるいはシフトさせるためのアクチュエータ151は不要となる。

【0097】そして、図10に示す記録再生時の光ピックアップ装置では、予め収差補正光学系6の組付け時にコマ収差が除去されているので、収差補正第1レンズ15は光軸OAに対してチルト(傾斜)あるいはシフトした状態で固定された構成となっている。これにより、記録再生時には、アクチュエータ152を駆動させ収差補正第2レンズ16のみを光軸OA方向に移動させることによって、球面収差を除去するようになっている。

【0098】このように、姿勢調整装置により予めコマ収差を補正するように収差補正光学系6が調整されることで、図8で示したコマ収差補正用のアクチュエータ151やこれに伴う制御回路を設ける必要がなく、光ピックアップ装置の構成を簡素なものとすることができる。

【0099】なお、上記の説明では、予め収差補正光学系6の光ピックアップ装置への組み付け時に、収差補正第1レンズ15をチルトあるいはシフトさせることによって、コマ収差を除去する例を示したが、これに限定されるものではなく、例えば収差補正第2レンズ16でコマ収差を除去することも可能である。

【0100】さらに、図9では、コマ収差補正のために、収差補正第1レンズ15のみをチルトあるいはシフトさせる例、すなわち収差補正第1レンズ15をx方向、y方向、z方向、 θx 方向、 θy 方向に駆動させる例を示しているが、これに限定されず、例えば、収差補正第2レンズ16をx方向、y方向、z方向に駆動させ、収差補正第1レンズ15を θx 方向、 θy 方向に駆動させることで、コマ収差を補正するようにしてもよい。また、この逆、すなわち収差補正第1レンズ15をx方向、y方向、z方向に駆動させ、収差補正第2レンズ16を θx 方向、 θy 方向に駆動させることで、コマ収差を補正するようにしてもよい。

【0101】また、収差補正光学系6に使用するアクチュエータについても、収差補正第1レンズ15、収差補正第2レンズ16の何れに使用してもよい。つまり、コマ収差補正後に球面収差を補正することに使用するのであれば、図10に示すように、コマ収差補正で使用していない収差補正第2レンズ16にのみアクチュエータ152を設けてもよいし、収差補正第2レンズ16にアクチュエータ152を設けるのではなく、コマ収差補正で使用した収差補正第1レンズ15を光軸OA方向に移動させて球面収差を補正するように、該収差補正第1レンズ15のみにアクチュエータ151を設けてもよい。また、この逆であってもよい。

【0102】なお、本実施の形態では、収差補正手段として使用した収差補正光学系6は、LD1側に負の屈折力のレンズ(収差補正第1レンズ15)を使用し、光記録媒体10側に正の屈折力のレンズ(収差補正第2レンズ16)を使用することで収差補正を行ったが、これ

は、ピックアップ装置の小型化をねらったものであり、光学系の構成によっては、LD側1側に正の屈折力のレンズを使用し、光記録媒体10側に負の屈折力のレンズを使用することで収差補正を行ってもよい。

【0103】さらに、収差補正手段として、液晶、ホログラム等の波面変換手段を使用してもよいし、若しくは、この波面変換手段と前記収差補正光学系6とを併用しても効果は変わらない。また、収差補正光学系6をコリメータレンズで兼ねることも可能である。

【0104】また、本実施の形態では、レーザ光の波長が410nmの光学系を例示したが、使用波長はこれに限定されるものではなく、その他の青色領域(400nm前後)や赤色領域(650nm前後)においてもその効果は変わらない。

【0105】本実施の形態を適用した光ピックアップ装置のさらなる他の例について、以下の各実施例に示す。なお、以下の各実施例では、説明の便宜上、対物レンズと収差補正光学系の周辺部についてのみ説明し、他の部分については本実施の形態1と同じ構成であるのでその説明は省略する。

*20 【表3】

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッペ数
収差補正第1レンズ	S1	10.85	1.42	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
	S2	infinity	5.365		
収差補正第2レンズ	S3	-17.39	1	nd=1.75520	$\nu d=27.5$
	S4	32.65	5		
絞り	ST0	infinity	0		
対物レンズ	S5	1.4792	2.3	nd=1.81474	$\nu d=37.0$
		K:-0.486800 A:0.368610E-02 B:-0.131835E-03 C:0.188556E-02 D:-0.309584E-02 E:0.219847E-02 F:-0.588395E-03 G:-0.840131E-04 H:0.434856E-04 J:-0.146533E-05			
	S6	28.0979	0.44		
		K:0.000000 A:0.103679E+00 B:-0.190848E+00 C:-0.926785E-01 D:0.287996E+00 E:0.195929E+00 F:-0.393015E+00 G:-0.208769E-03 H:0.568055E-01 J:-0.117780E-03			
光透過層	S7	infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0110】対物レンズ21は、NA0.85で平行光束が入射し(いわゆる無限共役)、光記録媒体10の光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、この対物レンズ21に使用されている硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、1.852である。そして、この対物レンズ21の有効光束径は $\phi 3$ で、焦点距離は1.763mmである。

【0111】本実施例においては、0.85という高いNAの対物レンズ21を、1枚のレンズで達成するために、対物レンズ21の収差を補正する収差補正光学系20を具備するものであり、負の屈折力である収差補正第1レンズ22と正の屈折力である収差補正第2レンズ23との間隔を可変とすることで、対物レンズ21のレン

*【0106】(実施例1)本実施例に係る光ピックアップ装置は、図11に示すように、収差補正光学系20及び対物レンズ21を有している。

【0107】上記収差補正光学系20は、2枚レンズの2群構成であり、LD側を収差補正第1レンズ(構成要素)22、光記録媒体側を収差補正第2レンズ(構成要素)23とすると、収差補正第1レンズ22は負の屈折力の球面レンズ、収差補正第2レンズ23は正の屈折力の球面レンズで、共に単レンズである。そして、上記収差補正第1レンズ22と収差補正第2レンズ23は、LDから光記録媒体10に向かって出射される出射光の光軸OA上に配されている。

【0108】表3に、対物レンズ21及び収差補正光学系20の光学構成を示す。なお、非球面係数については、前記の表1と同様である。また、表3中の面番号S1からS7は、図11に示すように、各レンズのそれぞれの面と、光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ21の対向面とを示している。

【0109】

ズ厚誤差、光記録媒体10の光透過層8の厚さばらつき、多層記録に対応している。更に、組立時に収差補正第1レンズ22若しくは収差補正第2レンズ23にシフト或いはチルトを与えることにより、対物レンズ21の製造誤差により発生したコマ収差を補正することが可能となる。

【0112】(実施例2)本実施例に係る光ピックアップ装置は、図12に示すように、収差補正光学系30及び対物レンズ31を有している。

【0113】上記収差補正光学系30は、2枚レンズの2群構成であり、LD側を収差補正第1レンズ(構成要素)33、光記録媒体側を収差補正第2レンズ(構成要素)34とすると、収差補正第1レンズ33は負の屈折力の非球面レンズ、収差補正第2レンズ34は正の屈折

力の非球面レンズで、共に単レンズであり、収差補正第1レンズ33の硝材は、色分散の大きい（アッペ数が40以下）ものを用いている。そして、上記収差補正第1レンズ33と収差補正第2レンズ34は、LDから光記録媒体10に向かって出射される出射光の光軸OA上に配されている。

【0114】表4に、対物レンズ31及び収差補正光学*

*系30の光学構成を示す。なお、非球面係数については、前記の表1と同様である。また、表4中の面番号S1からS7は、図12に示すように、各レンズのそれぞれの面と、光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ31の対向面とを示している。

【0115】

【表4】

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッペ数
収差補正 第1レンズ	S1	-10.97723	1	nd=1.68893	$\nu d=31.2$
		K:-324.946662 A:0.447672E-01 B:0.957027E-02 C:0.113985E-01 D:-0.867886E-02 E:0.180116E-02			
	S2	4.10804	5.498		
		K:0.000000 A:-0.490290E-02 B:0.404106E-02 C:0.253524E-01 D:0.104942E-01 E:0.722690E-02 F:-0.436589E-10 G:-0.187935E-10 H:-0.824192E-11			
収差補正 第2レンズ	S3	-8.28963	1.5	nd=1.58913	$\nu d=61.3$
		K:0.000000 A:-0.149581E-03 B:-0.348942E-04 C:0.323753E-03 D:0.565503E-04			
	S4	-3.98941	5		
		K:-0.439915 A:0.111554E-02 B:0.338402E-03 C:0.516269E-04 D:-0.497864E-05 E:0.548935E-04 F:-0.119397E-04			
絞り	ST0	infinity	0		
対物レンズ	S5	1.4782	2.3	nd=1.81474	$\nu d=37.0$
		K:-0.486800 A:0.368610E-02 B:-0.131835E-03 C:0.188556E-02 D:-0.309584E-02 E:0.219847E-02 F:-0.588395E-03 G:-0.840131E-04 H:0.434856E-04 J:-0.146533E-05			
	S6	28.0979	0.44		
		K:0.000000 A:0.103679E+00 B:-0.190848E+00 C:-0.926785E-01 D:0.287996E+00 E:0.195929E+00 F:-0.393015E+00 G:-0.208769E-03 H:0.568055E-01 J:-0.117780E-03			
光透過層	S7	infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0116】上記対物レンズ31は、NA0.85で平行光束が入射し（いわゆる無限共役）、光記録媒体10の光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、この対物レンズ31に使用されている硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、1.852である。そして、この対物レンズ31の有効光束径は $\phi 3$ で、焦点距離は1.763mmである。

【0117】本実施例においては、0.85という高いNAの対物レンズ31を、1枚のレンズで達成するために、対物レンズ31の収差を補正する収差補正光学系30を具備するものであり、負の屈折力である収差補正第1レンズ33と正の屈折力である収差補正第2レンズ34との間隔を可変とすることで、対物レンズ31のレンズ厚誤差、光記録媒体10の光透過層8の厚さばらつき、多層記録に対応している。更に、組立時に収差補正第1レンズ33若しくは収差補正第2レンズ34にシフ

ト或いはチルトを与えることにより、対物レンズ31の製造誤差により発生したコマ収差を補正することが可能となる。

【0118】また、収差補正第1レンズ33の硝材を、アッペ数31.2のものを使うことで、いわゆる色消しの効果を出し、色収差の低減を図ることができる。

【0119】（実施例3）本実施例に係る光ピックアップ装置は、図13に示すように、収差補正光学系40及び対物レンズ41を有している。

【0120】上記収差補正光学系40に入射したレーザー光は、対物レンズ41を通り光記録媒体10に入射され、記録面9にビームスポットを結ぶようになっている。ここで、光記録媒体10の光透過層8の厚さは、0.1mmとする。

【0121】上記収差補正光学系40は、3枚レンズの2群構成であり、LD側を収差補正第1レンズ（構成要素）42、光記録媒体側を収差補正第2レンズ（構成要素）43、光記録媒体10の光透過層8の対向面とを示している。

素) 43とすると、収差補正第1レンズ42は負の屈折力の非球面レンズ、収差補正第2レンズ43は正の屈折力の球面レンズで2枚貼り合わせの色消しレンズである。そして、上記収差補正第1レンズ42と収差補正第2レンズ43は、LDから光記録媒体10に向かって出射される出射光の光軸OA上に配されている。

【0122】表5に、対物レンズ41及び収差補正光学*

*系40の光学構成を示す。なお、非球面係数については、前記表1と同様である。また、表5中の面番号S1からS8は、図13に示すように、各レンズのそれぞれの面と、光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ41の対向面とを示している。

【0123】

【表5】

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッベ数
収差補正第1レンズ	S1	-69.45929	1.0	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
		K:-133.362033 A:0.697609E-02 B:0.663479E-03 C:-0.666027E-03 D:0.319109E-03			
収差補正第2レンズ	S2	3.34632	3.49		
	S3	23.48087	1	nd=1.75520	$\nu d=27.5$
	S4	6.70534	1.5	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
絞り	S5	-5.37954	5		
	ST0	infinity	0		
対物レンズ		1.4792	2.3	nd=1.81474	$\nu d=37.0$
	S6	K:-0.486800 A:0.368610E-02 B:-0.131835E-03 C:0.188556E-02 D:-0.309584E-02 E:0.219847E-02 F:-0.588395E-03 G:-0.840131E-04 H:0.434856E-04 J:-0.146533E-05			
		28.0979	0.44		
光透過層	S7	K:0.000000 A:0.103679E+00 B:-0.190848E+00 C:-0.926785E-01 D:0.287996E+00 E:0.195929E+00 F:-0.393015E+00 G:-0.208769E-03 H:0.568055E-01 J:-0.117780E-03			
	S8	infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0124】上記対物レンズ41は、NA0.85で平行光束が入射し(いわゆる無限共役)、光記録媒体10の光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、この対物レンズ41に使用される硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、1.852である。そして、対物レンズ41の有効光束径は $\phi 3$ で、焦点距離は1.7625mmである。

【0125】光記録媒体10における異なる光透過層8の厚さにより発生する球面収差に対して、収差補正光学系40は、実施の形態1と同様で、光透過層8の厚さに応じて、収差補正第1レンズ42と収差補正第2レンズ43との間隔を変化させることで対応する。

【0126】また、対物レンズ41の厚さ・面精度誤差から発生する球面収差についても、収差補正光学系40の収差補正第1レンズ42と収差補正第2レンズ43との間隔を変化させる事で対応可能であるし、対物レンズ41の面のシフト・チルト誤差から発生するコマ収差についても、収差補正第1レンズ42または収差補正第2レンズ43のどちらか一方を、組立段階で予めシフトまたはチルトさせる、或いは光記録媒体10を傾けることで対応可能であることは、実施の形態1と同様であり、これにより対物レンズ41の製造公差を拡げることが可能となる。

【0127】さらに、正の屈折力である収差補正第2レ

ンズ43を色消しの接合レンズとしたことで、色収差の低減を図ることができる。

【0128】(実施例4)本実施例に係る光ピックアップ装置は、図14に示すように、収差補正光学系50及び対物レンズ51を有している。

【0129】上記収差補正光学系50に入射したレーザー光は、対物レンズ51を通り光記録媒体10に入射され、記録面9にビームスポットを結ぶようになっている。ここで、光記録媒体10の光透過層8の厚さは、0.1mmとする。

【0130】上記収差補正光学系50は、2枚レンズの2群構成であり、LD側を収差補正第1レンズ(構成要素)52、光記録媒体側を収差補正第2レンズ(構成要素)53とすると、収差補正第1レンズ52は負の屈折力の非球面レンズ、収差補正第2レンズ53は正の屈折力の非球面レンズで、共に単レンズであり、収差補正第1レンズ52の硝材は、色分散の大きい(即ち、アッベ数の小さい)ものを用いている。そして、上記収差補正第1レンズ52と収差補正第2レンズ53は、LDから光記録媒体10に向かって出射される出射光の光軸OA上に配されている。

【0131】表6に、対物レンズ51及び収差補正光学系50の光学構成を示す。なお、非球面係数については、前記表1と同様である。また、表6中の面番号S1

からS8は、図14に示すように、各レンズのそれぞれの面と、光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ51の対向面とを示している。

*【0132】

【表6】

*

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッペ数
収差補正 第1レンズ	S1	-10.97723	1	nd=1.68893	$\nu d=31.2$
		K:-324.946662 A:0.447672E-01 B:0.957027E-02 C:0.113985E-01 D:-0.867886E-02 E:0.180116E-02			
	S2	4.10804	5.498		
		K:0.000000 A:-0.490290E-02 B:0.404106E-02 C:0.253524E-01 D:0.104942E-01 E:0.722690E-02 F:-0.436589E-10 G:-0.187935E-10 H:-0.824192E-11			
収差補正 第2レンズ	S3	-8.28963	1.5	nd=1.58913	$\nu d=61.3$
		K:0.000000 A:-0.149581E-03 B:-0.348942E-04 C:0.323753E-03 D:0.565503E-04			
	S4	-3.98941	5		
		K:-0.439915 A:0.111554E-02 B:0.338402E-03 C:0.516269E-04 D:-0.497864E-05 E:0.548935E-04 F:-0.119397E-04			
絞り	ST0	infinity	0		
対物レンズ	S5	1.44232	1.143	nd=1.74330	$\nu d=49.3$
		K:-0.532727 A:0.378419E-02 B:0.127353E-02 C:0.159295E-02 D:-0.338359E-02 E:0.244551E-02 F:-0.645421E-03 G:-0.909806E-04 H:0.420380E-04 J:-0.480973E-07			
	S6	infinity	1.199	nd=1.75520	$\nu d=27.5$
		-6.92233	0.47		
光透過層	S8	K:0.000000 A:0.267390E+00 B:-0.565493E+00 C:0.561032E-00 D:-0.230571E+00 E:0.154731E-01 F:0.119854E-14 G:0.210943E-14 H:0.662246E-15			
		infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0133】上記対物レンズ51は、2枚のレンズを貼り合わせ、NA0.85で平行光束が入射し（いわゆる無限共役）、光記録媒体10の光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、この対物レンズ51に使用される硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、LD側のレンズが1.76781、光記録媒体10側のレンズが1.80304である。このように、対物レンズ51を2枚のレンズで貼り合わせた構成とすることで、色収差を小さく抑えている。そして、上記対物レンズ51の有効光束径はφ3で、焦点距離は1.763mmである。

【0134】光記録媒体10における異なる光透過層8の厚さにより発生する球面収差に対して、収差補正光学系50は、実施の形態1と同様で、光透過層8の厚さに応じて、収差補正第1レンズ52と収差補正第2レンズ53との間隔を変化させることで対応する。

【0135】また、対物レンズ51の厚さ・面精度誤差から発生する球面収差についても、収差補正光学系50の収差補正第1レンズ52と収差補正第2レンズ53との間隔を変化させる事で対応可能であるし、対物レンズ

51の面のシフト・チルト誤差から発生するコマ収差についても、収差補正第1レンズ52または収差補正第2レンズ53のどちらか一方を、組立段階で予めシフトまたはチルトさせる、或いは光記録媒体10を傾けることで対応可能であることは、実施の形態1と同様であり、これにより対物レンズ51の製造公差を拡げることが可能となる。

【0136】本実施例においては、0.85という高いNAの対物レンズを、1枚のレンズで達成するために、対物レンズの収差を補正する収差補正光学系50を具備するものであり、負の屈折力である収差補正第1レンズ52と正の屈折力である収差補正第2レンズ53との間隔を可変とすることで、対物レンズ51のレンズ厚誤差、光記録媒体10の光透過層8の厚さばらつき、多層記録に対応している。更に、組立時に収差補正第1レンズ52若しくは収差補正第2レンズ53にシフト或いはチルトを与えることにより、対物レンズ51の製造誤差により発生したコマ収差を補正することが可能となる。

【0137】また、収差補正第1レンズ52の硝材を、アッペ数31.2のものをを用い、対物レンズ51を2枚

貼り合わせの色消しレンズとすることで、色収差の低減を図ることができる。

【0138】本実施の形態1および実施例1～4においては、対物レンズのNAが0.85の場合について、本願発明を適用した場合について説明したが、以下の実施の形態2では、対物レンズのNAが0.75の場合について、本願発明を適用した場合について説明する。

【0139】〔実施の形態2〕本発明の他の実施の形態について説明すれば、以下の通りである。なお、説明の便宜上、本実施の形態では、光ピックアップ装置を構成する対物レンズと収差補正光学系との周辺部のみを説明を行い、他の光ピックアップ装置の構成部材は前記実施の形態1と同様の構成であるので、その説明は省略する。

【0140】本実施の形態に係る光ピックアップ装置は、図15に示すように、収差補正光学系60及び対物レンズ61を有している。

【0141】上記光ピックアップ装置では、収差補正光学系60に入射したレーザ光は、対物レンズ61を通り光記録媒体10に入射され、該光記録媒体10の記録面9にビームスポットを結ぶようになっている。ここで、光記録媒体10の光透過層8の厚さは、0.1mmとする。

【0142】上記収差補正光学系60は、2枚レンズの*

* 2群構成であり、LD側を収差補正第1レンズ（構成要素）62、光記録媒体側を収差補正第2レンズ（構成要素）63とすると、収差補正第1レンズ62は負の屈折力の非球面レンズ、収差補正第2レンズ63は正の屈折力の非球面レンズで、共に単レンズである。そして、上記収差補正第1レンズ62と収差補正第2レンズ63は、LDから光記録媒体10に向かって出射される出射光の光軸OA上に配されている。

【0143】表7に、対物レンズ61及び収差補正光学系60の光学構成を示す。

【0144】但し、表7に示す非球面係数については、次式に表す関係を有するものとする。

$$Z = \left(\frac{1}{r} \right) y^2 / \{ 1 + (1 - (1 + K) \left(\frac{1}{r} \right)^2 y^2)^{1/2} \} + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + E y^{12} + F y^{14} + G y^{16} + H y^{18} + J y^{20}$$

（ここで、Zは面頂点を基準にした光軸方向の深さ、yは光軸からの高さ、rは近軸曲率半径、Kは円錐定数、A、B、C、D、E、F、G、H、Jは非球面係数である。）

また、表7中の面番号S1からS7は、図15に示すように、各レンズの面および光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ61の対向面を示している。

【0145】

【表7】

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッベ数
収差補正第1レンズ	S1	-9.43233	1	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
		K:-6.092373 A:0.164522E-02 B:0.165341E-02 C:0.237202E-02 D:-0.831718E-03			
収差補正第2レンズ	S2	4.96737	3.98		
	S3	-37.75778	1	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
	S4	-5.07138	5		
対物レンズ		K:-0.107492 A:0.113991E-03 B:0.756886E-04 C:0.961254E-06 D:0.453347E-05			
	絞り	ST0	infinity	0	
			1.56624	2	nd=1.74330 $\nu d=49.3$
対物レンズ	S5	K:-0.521909 A:0.673002E-02 B:-0.202369E-02 C:0.311717E-02 D:-0.375929E-02 E:0.204709E-02 F:-0.648953E-03 G:0.272102E-04 H:0.744195E-04 J:-0.207786E-04			
	S6	-34.98172	0.83		
光透過層		K:0.000000 A:0.150690E+00 B:-0.391056E+00 C:0.523649E+00 D:-0.354349E+00 E:0.918488E-01			
	S7	infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0146】上記対物レンズ61は、NA0.75で平行光束が入射し（いわゆる無限共役）、光記録媒体10の光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、この対物レンズ61に使用される硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、1.7678である。そして、対物レンズ61の有

効光束径はφ3で、焦点距離は2.0mmである。

【0147】光記録媒体10の異なる光透過層8の厚さにより発生する球面収差に対して、収差補正光学系60は、実施の形態1と同様、光透過層8の厚さに応じて、収差補正第1レンズ62と収差補正第2レンズ63との間隔を変化させることで補正可能である。

【0148】次に、対物レンズ61の製造誤差から発生する収差をどのように補正するかを説明する。まず、対物レンズ61の製造公差であるが、モールド時の金型の位置合わせ精度、レンズ材料（プリフォーム）の重量（体積）精度、金型の加工精度等考慮すると、レンズ厚さは、 $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度、レンズの両面のシフトは、 $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度、レンズの両面のチルトは、 ± 2 分程度ばらつくと考えられ、これが対物レンズの製造公差となる。即ち、この範囲の誤差が生じた場合においても、特性の劣化が最小限に抑えられた光学系の設計を行う必要がある。

【0149】一方、光ピックアップ装置においては、光記録媒体10の記録面9上でのビームスポットの収差が、波面のr. m. s. 値で 0.07λ (Marchal Criteria) 以下であれば、十分絞り込んだ良好なビームとなる。この許容収差を光学部品に配分すると、対物レンズ61及び収差補正光学系60においては、 0.03λ 程度の収差に抑える必要があり、これが規定値となる。

【0150】これを実現するために、本発明のピックアップ装置においては、対物レンズ61を1群若しくは1枚レンズとし、収差補正光学系60を有し、収差補正光学系60を構成するいずれかのレンズを光軸OA方向に可動とし、チルト及びシフトさせる構成とした。

【0151】まず、対物レンズ61の厚さ誤差から発生する球面収差については、収差補正光学系60の収差補正第1レンズ62と収差補正第2レンズ63との間隔を変化させることで補正可能である。

【0152】ここで、対物レンズ61の厚さ誤差が、設計値に対して $-20 \mu\text{m}$ から $+20 \mu\text{m}$ となったときに、収差補正光学系60がない場合の収差値と、収差補正第1レンズ62と収差補正第2レンズ63の中心間隔を変化させて補正したときの収差値を図16に示す。前記の通り、レンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ61のレンズ厚さ誤差は、金型の合わせ誤差、加工誤差により $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度発生する。

【0153】図16に示すグラフから、収差補正光学系60がない場合（グラフの補償無しの場合）、収差の規定値である 0.03λ となるのは、レンズ厚さ誤差が $\pm 3.5 \mu\text{m}$ のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ厚さ誤差 $\pm 3.5 \mu\text{m}$ は、前記製造公差 $\pm 5 \mu\text{m}$ と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0154】一方、収差補正第1レンズ62と収差補正第2レンズ63の中心間隔を変化させて補正した場合（グラフの補償有りの場合）、レンズ厚さ誤差が $\pm 12 \mu\text{m}$ まで許容でき、前記製造公差 $\pm 5 \mu\text{m}$ と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0155】上記対物レンズ61の面チルト（対物レンズ61両面の中心軸の傾き）から発生するコマ収差については、収差補正第1レンズ62または収差補正第2レ

ンズ63のどちらか一方を、シフトまたはチルトさせることで補正可能である。

【0156】ここで、対物レンズ61の面チルト誤差が、設計値に対して -10 分から $+10$ 分となったときに、収差補正光学系がない場合の収差値と、収差補正第1レンズ62のチルト量を変化させて補正したときの収差値、及び収差補正第1レンズ62のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときの収差値を図17に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ61の両面チルト量（レンズ面チルト誤差）は、金型の合わせ誤差、加工誤差により ± 2 分程度発生する。

【0157】図17に示すグラフから、収差補正光学系60がない場合（グラフの補償無しの場合）、収差の規定値である 0.03λ となるのは、レンズ面チルト誤差が ± 1 分のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面チルト誤差 ± 1 分は、前記製造公差 ± 2 分と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0158】一方、収差補正第1レンズ62のチルト量を変化させて補正した場合（グラフの補償あり、チルトの場合）、レンズ面チルト誤差が ± 4 分まで許容でき、前記製造公差 ± 2 分と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0159】さらに、収差補正第1レンズ62のチルト量とシフト量を共に変化させて補正した場合（グラフの補償有り、チルト、シフトの場合）、レンズ面チルト誤差が ± 8 分まで許容でき、より製造が容易なものになっていることが分かる。

【0160】また、上記対物レンズ61の面シフト（対物レンズ両面の中心軸のずれ）から発生するコマ収差については、収差補正第1レンズ62または収差補正第2レンズ63のどちらか一方を、シフトまたはチルトさせることで補正可能である。

【0161】ここで、対物レンズ61の面シフトが、設計値に対して $-10 \mu\text{m}$ から $+10 \mu\text{m}$ となったときに、収差補正光学系がない場合の収差値と、収差補正第1レンズ62のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときの収差値を図18に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ61の両面シフト量（レンズ面シフト誤差）は、金型の合わせ誤差、加工誤差により $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度発生する。

【0162】図18に示すグラフから、収差補正光学系60がない場合（グラフの補償無しの場合）、収差の規定値である 0.03λ となるのは、レンズ面シフト誤差が $\pm 4 \mu\text{m}$ のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面シフト誤差 $\pm 4 \mu\text{m}$ は、前記製造公差 $\pm 5 \mu\text{m}$ と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0163】一方、収差補正第1レンズ62のチルト量

とシフト量を共に変化させて補正した場合（グラフの補償有り、チルト、シフトの場合）、レンズ面シフト誤差が±5.5 μmまで許容でき、前記製造公差±5 μmと比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0164】さらに、対物レンズ61の面のチルトから発生するコマ収差については、光記録媒体10を傾ける、即ち光記録媒体10を回転させるモーターの軸を傾けることでも補正可能である。

【0165】ここで、対物レンズ61の面チルトが、設計値に対して-10分から+10分となったときに、光記録媒体を傾けなかった場合の収差値と、光記録媒体の傾きを変化させて収差を補正したときの収差値を図19に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズの両面チルト量（レンズ面チルト誤差）は、金型の合わせ誤差、加工誤差により±2分程度発生する。

【0166】図19に示すグラフから、光記録媒体10を傾けなかった場合（グラフの補償無しの場合）、収差の規定値である0.03 λとなるのは、レンズ面チルト誤差が±1分のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面チルト誤差±1分は、前記製造公差±2分と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0167】一方、光記録媒体の傾きを変化させて収差を補正した場合（グラフの補償有りの場合）、レンズ面チルト誤差が±6.5分まで許容でき、前記製造公差±2分と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0168】このように、本実施の形態においては、0.75という高いNAの対物レンズ61を、1枚のレンズで達成するために、対物レンズ61の収差を補正する収差補正光学系60を具備するものであり、負の屈折力である収差補正第1レンズ62と正の屈折力である収差補正第2レンズ63との間隔を可変とすることで、対物レンズ61のレンズ厚誤差、光記録媒体の光透過層8の厚さばらつき、多層記録に対応している。さらに、収差補正第1レンズ62若しくは収差補正第2レンズ63にシフト或いはチルトを与えることにより、対物レンズ61の製造誤差により発生したコマ収差を補正することが可能となる。

【0169】以上の実施の形態1および2では、収差補正光学系を構成する収差補正第1レンズおよび収差補正第2レンズのいずれも非球面レンズを使用した例について説明しているが、以下の実施の形態3のように、一方の収差補正レンズを回折レンズを使用してもよい。

【0170】〔実施の形態3〕本発明のさらに他の実施の形態について説明すれば、以下の通りである。なお、説明の便宜上、本実施の形態では、光ピックアップ装置を構成する対物レンズと収差補正光学系との周辺部のみの説明を行い、他の光ピックアップ装置の構成部材は前

記実施の形態1と同様の構成であるので、その説明は省略する。

【0171】本実施の形態に係る光ピックアップ装置は、図20に示すように、収差補正光学系70及び対物レンズ71を有している。

【0172】上記光ピックアップ装置では、収差補正光学系70に入射したレーザ光は、対物レンズ71を通り光記録媒体10に入射され、光記録媒体10の記録面9にビームスポットを結ぶようになっている。ここで、上記光記録媒体10の光透過層8の厚さは、0.1 mmとする。

【0173】上記収差補正光学系70は、2枚レンズの2群構成であり、LD側を収差補正レンズ（構成要素）72、光記録媒体10側を収差補正ホログラムレンズ（構成要素）73とすると、収差補正レンズ72は負の屈折力の非球面レンズで焦点距離が-6 mm、収差補正ホログラムレンズ73は正の屈折力の回折レンズ（ホログラムレンズ）で焦点距離が10.4 mm、共に単レンズである。

【0174】上記収差補正ホログラムレンズ73は、同心円状の溝が形成されており、1次の回折効率を高くするため、断面図は図21に示すようなブレード形状に形成されている。この収差補正ホログラムレンズ73において、第1輪帯のピッチ（周期）は約92 μm、光束の最も外側（周辺部）のピッチは約2.6 μm程度であり、光軸中心から周辺部に向かうにつれてピッチが小さくなるように構成されている。上記収差補正ホログラムレンズ73は、ダイヤモンドバイトを用いた切削機で金型を加工し、2P法で平坦なガラス基板上に紫外線硬化樹脂を塗布し金型により転写して作成されたものである。そして、上記収差補正レンズ72と収差補正ホログラムレンズ73は、LDから光記録媒体10に向かって出射される出射光の光軸OA上に配されている。

【0175】表8に、対物レンズ71及び収差補正光学系70の光学構成を示す。

【0176】但し、非球面係数については、次式に表す関係である。

$$Z = \left(\frac{1}{r} \right) y^2 / \left\{ 1 + \left(1 - (1+K) \left(\frac{1}{r} \right)^2 y^2 \right)^{1/2} \right\} + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + E y^{12} + F y^{14} + G y^{16} + H y^{18} + J y^{20}$$

（ここで、Zは面頂点を基準にした光軸方向の深さ、yは光軸からの高さ、rは近軸曲率半径、Kは円錐定数、A、B、C、D、E、F、G、H、Jは非球面係数である。）

また、表8中の面番号S1からS7は、図20に示す各レンズの面および光記録媒体10の光透過層8の対物レンズ71の対向面を示している。

【0177】

【表8】

	面番号	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	ガラス屈折率	ガラスアッベ数
収差補正 第1レンズ	S1	-9.43233	1.0	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
		K:-6.092373 A:0.164522E-02 B:0.165341E-02 C:0.237202E-02 D:-0.831718E-03			
	S2	4.96737	4.19		
収差補正 第2レンズ	S3	infinity	1.0	nd=1.51680	$\nu d=64.2$
		ホログラムレンズ			
	S4	infinity	5.0		
絞り	ST0	infinity	0		
対物レンズ	S5	1.4792	2.3	nd=1.81474	$\nu d=37.0$
		K:-0.486800 A:0.368610E-02 B:-0.131835E-03 C:0.188556E-02 D:-0.309584E-02 E:0.219847E-02 F:-0.588395E-03 G:-0.840131E-04 H:0.434856E-04 J:-0.146533E-05			
	S6	28.0979	0.44		
		K:0.000000 A:0.103679E+00 B:-0.190848E+00 C:-0.926785E-01 D:0.287996E+00 E:0.195929E+00 F:-0.393015E+00 G:-0.208769E-03 H:0.568055E-01 J:-0.117780E-03			
光透過層	S7	infinity	0.1	nd=1.585	$\nu d=29.9$
	IMAGE	infinity			

【0178】上記対物レンズ71は、NA0.85で平行光束が入射し（いわゆる無限共役）、光記録媒体10の光透過層8の厚さが0.1mmの時、ほぼ無収差となるように設計されており、この対物レンズ71に使用される硝材の屈折率は、使用波長である410nmにおいて、1.852である。そして、上記対物レンズ71の有効光束径は $\phi 3$ で、焦点距離は1.763mmである。

【0179】光記録媒体10の異なる光透過層8の厚さにより発生する球面収差に対して、収差補正光学系70は、実施の形態1と同様で、光透過層8の厚さに応じて、収差補正レンズ72と収差補正ホログラムレンズ73との間隔を変化させることで補正可能である。

【0180】次に、対物レンズ71の製造誤差から発生する収差をどのように補正するかを説明する。まず、対物レンズ71の製造公差であるが、モールド時の金型の位置合わせ精度、レンズ材料（プリフォーム）の重量（体積）精度、金型の加工精度等考慮すると、レンズ厚さは、 $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度、レンズの両面のシフトは、 $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度、レンズの両面のチルトは、 ± 2 分程度ばらつくと考えられ、これが対物レンズの製造公差となる。即ち、この範囲の誤差が生じた場合においても、特性の劣化が最小限に抑えられた光学系の設計を行う必要がある。

【0181】一方、光ピックアップ装置においては、光記録媒体10の記録面9上でのビームスポットの収差が、波面のr. m. s. 値で0.07 λ （Marechal Criteria）以下であれば、十分絞り込んだ良好なビームとなる。この許容収差を光学部品に配分すると、対物レンズ71及び収差補正光学系70においては、0.03 λ 程度の収差に抑える必要があり、これが規定値となる。

【0182】これを実現するために、本発明のピックアップ装置においては、対物レンズ71を1群若しくは1枚のレンズ構成とし、収差補正光学系70を有し、収差補正光学系70のいずれかのレンズを光軸OA方向に可動可能とし、チルト及びシフト可能な構成としている。

【0183】まず、対物レンズ71の厚さ誤差から発生する球面収差については、収差補正光学系70の収差補正レンズ72と収差補正ホログラムレンズ73との間隔を変化させることで補正可能である。

【0184】ここで、対物レンズ71の厚さ誤差が、設計値に対して $-10 \mu\text{m}$ から $+10 \mu\text{m}$ となったときに、収差補正光学系がない場合の収差値と、収差補正レンズ72と収差補正ホログラムレンズ73の中心間隔を変化させて補正したときの収差値を図22に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ71のレンズ厚さ誤差（対物レンズ厚さ誤差）は、金型の合わせ誤差、加工誤差により $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度発生する。

【0185】図22に示すグラフから、収差補正光学系70がない場合（グラフの補償無しの場合）、収差の規定値である0.03 λ となるのは、レンズ厚さ誤差が $\pm 2 \mu\text{m}$ のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ厚さ誤差 $\pm 2 \mu\text{m}$ は、前記製造公差 $\pm 5 \mu\text{m}$ と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0186】一方、収差補正レンズ72と収差補正ホログラムレンズ73の中心間隔を変化させて補正した場合（グラフの補償有りの場合）、レンズ厚さ誤差が $-5 \sim +9 \mu\text{m}$ まで許容でき、前記製造公差 $\pm 5 \mu\text{m}$ と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0187】また、上記対物レンズ71の面チルト（対

物レンズ両面の中心軸の傾き)から発生するコマ収差については、収差補正レンズ72または収差補正ホログラムレンズ73のどちらか一方を、シフトまたはチルトさせることで補正可能である。

【0188】ここで、対物レンズ71の面チルト誤差が、設計値に対して-10分から+10分となったときに、収差補正光学系がない場合の収差値と、収差補正レンズ72のチルト量を変化させて補正したときの収差値、及び収差補正レンズ72のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときの収差値を図23に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ71の両面チルト量(レンズ面チルト誤差)は、金型の合わせ誤差、加工誤差により±2分程度発生する。

【0189】図23に示すグラフから、収差補正光学系70がない場合(グラフの補償無しの場合)、収差の規定値である0.03λとなるのは、レンズ面チルト誤差が±0.5分のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面チルト誤差±0.5分は、前記製造公差±2分と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0190】一方、収差補正レンズ72のチルト量を変化させて補正した場合(グラフの補償有り、チルトの場合)、レンズ面チルト誤差が±4.5分まで許容でき、製造可能なものになっていることが分かる。

【0191】さらに、収差補正レンズ72のチルト量とシフト量を共に変化させて補正した場合(グラフの補償有り、チルト、シフトの場合)、レンズ面チルト誤差が±6.5分まで許容でき、より製造が容易なものになっていることが分かる。

【0192】また、上記対物レンズ71の面シフト(対物レンズ両面の中心軸のずれ)から発生するコマ収差については、収差補正レンズ72または収差補正ホログラムレンズ73のどちらか一方を、シフトまたはチルトさせることで補正可能である。

【0193】ここで、対物レンズ71の面シフトが、設計値に対して-10μmから+10μmとなったときに、収差補正光学系がない場合の収差値と、収差補正レンズ72のチルト量とシフト量を共に変化させて補正したときの収差値を図24に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズの両面シフト量(レンズ面シフト誤差)は、金型の合わせ誤差、加工誤差により±5μm程度発生する。

【0194】図24に示すグラフから、収差補正光学系70がない場合(グラフの補償無しの場合)、収差の規定値である0.03λとなるのは、レンズ面シフト誤差が±3.5μmのときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面シフト誤差±3.5μmは、前記製造公差±5μmと比較するとこれは到底製造できないものである。

【0195】一方、収差補正第1レンズ62のチルト量とシフト量を共に変化させて補正した場合(グラフの補償有り、チルト、シフトの場合)、対物レンズの面シフト誤差が±5.5μmまで許容でき、前記製造公差±5μmと比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0196】さらに、対物レンズ71の面のチルトから発生するコマ収差については、光記録媒体を傾ける、即ち光記録媒体を回転させるモーターの軸を傾ける事でも補正可能である。

【0197】ここで、対物レンズ71の面チルトが、設計値に対して-10分から+10分となったときに、光記録媒体10を傾けなかった場合の収差値と、光記録媒体10の傾きを変化させて収差を補正したときの収差値を図25に示す。前記の通りレンズを金型によりガラスモールドした時の対物レンズ71の面チルト誤差(レンズ面チルト誤差)は、金型の合わせ誤差、加工誤差により±2分程度発生する。

【0198】図25に示すグラフから、光記録媒体10を傾けなかった場合(グラフの補償無し)、収差の規定値である0.03λとなるのは、レンズ面チルト誤差が±0.5分のときであり、この数値以下の精度での製造が要求されることが分かる。しかしながら、レンズ面チルト誤差±0.5分は、前記製造公差±2分と比較するとこれは到底製造できないものである。

【0199】一方、光記録媒体10の傾きを変化させて収差を補正した場合(グラフの補償有りの場合)、レンズ面チルト誤差が±7分まで許容でき、前記製造公差±2分と比較すると製造可能なものになっていることが分かる。

【0200】このように、本実施の形態では、0.85という高いNAの対物レンズ71を、1枚のレンズで達成するために、対物レンズ71の収差を補正する収差補正光学系70を具備するものであり、負の屈折力である収差補正レンズ72と正の屈折力である収差補正ホログラムレンズ73との間隔を可変とすることで、対物レンズ71のレンズ厚誤差、光記録媒体の光透過層8の厚さばらつき、多層記録に対応している。

【0201】さらに、組立時に収差補正レンズ72若しくは収差補正ホログラムレンズ73にシフト或いはチルトを与えることにより、対物レンズ71の製造誤差により発生したコマ収差を補正することが可能となる。

【0202】また、前記収差補正ホログラムレンズ73は薄い構成とし易いことから、対物レンズ71や45度ミラー、アパーチャ、PBS等と一体化し、収差補正レンズ72のみを可動とする構成とすることで、光ピックアップ装置の小型化、さらにはこの光ピックアップ装置を使用した装置自体の小型化が図れるという効果もある。

【0203】さらに、本実施の形態での大きな効果は、

収差補正光学系 70 に回折レンズを用いることで、色収差を大幅に低減することを可能としたことである。対物レンズ単独では、波長の変動に伴う最良像点の移動が、波長 1 nm あたり、約 0.55 μm であったものが、回折レンズである収差補正ホログラムレンズ 73 を収差補正光学系 70 に用いることで、最良像点の移動が、波長 1 nm あたり、0.03 μm と 90% 以上低減でき大きく改善された。

【0204】従って、レーザ照射手段としての LD がマルチモード発振したときや、高周波重畳により波長に揺らぎが生じたときも、最良像点の光軸方向の変動が起こりにくく、ビームスポットがぼける事もない。これにより、光ピックアップ装置に高い NA の対物レンズを用いることにより焦点深度が小さくなり、対物レンズのフォーカス合わせの精度が厳しくなるという高密度記録時に固有の問題に対して、光学系の収差（特に球面収差、色収差）が生じることで更にフォーカス合わせが厳しくなると言うこともなく、フォーカス制御マージンが大きく、良好な記録再生が可能であるという効果がある。

【0205】本実施の形態においては、収差補正ホログラムレンズとして、図 21 に示すようなブレード形状の回折素子を用いたが、断面形状は図 26 に示すようないわゆるバイナリー型であっても良く、4 段以上のレベルに分割することで理論上 80% 以上の回折効率が得られる。この際、ピッチの狭い領域（レンズ口径の光軸から遠い領域）においては、加工上の問題から 2 段にしても、全回折効率に大きな影響はない。

【0206】また、バイナリー型の場合はフォトリソグラフィを応用した製造プロセスが使いやすいため、バッチ処理がし易く、精度・生産性共に良好なホログラムレンズが得られる。また近年、ブレード型でも、電子ビーム露光（描画）を用いて、フォトリソグラフィ技術で作成可能であり、回折効率と生産性の両立も可能となっている。光量に余裕があれば矩形形状であっても良いが、不要次数光によるノイズなどの悪影響があるので前記ブレード若しくはバイナリーが望ましい。

【0207】本発明の光ピックアップ装置においては、対物レンズは、光ピックアップ装置の使用波長の少なくとも 1 つにおいて、屈折率が 1.75 以上の硝材を含むようにしてもよい。

【0208】これにより、レンズ面の傾斜を緩やかにできるので、製造公差の大きい対物レンズを得ることができる。

【0209】また、本発明の光ピックアップ装置は、収差補正光学系が 2 群構成であり、収差補正光学系の一方の群の屈折力が正で、もう一方が負であってもよい。

【0210】これにより、対物レンズの製造誤差による収差劣化を補正し、更に光記録媒体の光透過層の厚さの違いに対応し良好な特性を得ることができる。

【0211】また、本発明の光ピックアップ装置は、収

差検出手段を有し、収差検出手段から得られる情報に基づいて収差補正光学系の 2 つの群の間隔を可変とできるような可動装置を備えていてもよい。

【0212】これにより、対物レンズの製造誤差による収差劣化を補正し、更に光記録媒体の光透過層の厚さの違いに対応し、多層記録等高容量の記録再生が可能となる。

【0213】また、本発明の光ピックアップ装置は、収差補正光学系において、少なくとも 1 面以上の非球面を含んでいてもよい。

【0214】これにより、対物レンズの製造誤差による収差劣化を補正し、更に光記録媒体の光透過層の厚さの違いに対応し良好な特性を得ることができる。

【0215】また、本発明の光ピックアップ装置は、収差補正光学系において、屈折力が負の群は単レンズであり、その材料のアッベ数が、40 以下であってもよい。

【0216】これにより、対物レンズに入射する光の波長が変化しても像点の移動が小さく、安定したサーボ信号と良い特性の読み出し信号が得られる。

【0217】また、本発明の光ピックアップ装置は、回折光学素子がブレード型若しくはバイナリー型のホログラムであってもよい。

【0218】これにより、対物レンズに入射する光の波長が変化しても、像点の移動がほとんど無く、安定したサーボ信号と良い特性の読み出し信号が得られ、更に、製造性及び光利用効率が良好となる。

【0219】

【発明の効果】本発明の光ピックアップ装置は、以上のように、光源から光記録媒体に向けて出射される出射光を集光光学系により該光記録媒体に集光して情報を記録または再生する光ピックアップ装置において、上記集光光学系は、開口数が 0.75 以上で、且つ 1 群構成の対物レンズからなり、上記対物レンズの両面の中心軸の傾きやずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差を補正する収差補正光学系が設けられている構成である。

【0220】それゆえ、収差補正光学系により、上記開口数が 0.75 以上の対物レンズの両面の上記記録媒体に対する傾きや中心軸のずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差が補正されるので、対物レンズのコマ収差による特性劣化をなくすることができる。

【0221】これにより、開口数が 0.75 以上の対物レンズであっても、コマ収差による特性劣化の影響がないので、この高開口数の 1 群構成の対物レンズを光ピックアップ装置に使用すれば、高い記録密度を実現しながら、温度変化、湿度変化、経時変化に強く、高信頼性化を図ることができる。

【0222】また、2 群構成の対物レンズのように組立工程がないことから、生産性に優れローコスト化が容易

10

20

30

40

50

であり、対物レンズを小型・軽量にかつ剛性高く構成することができるので、高密度記録再生を高速で行うことができるという効果を奏する。

【0223】上記収差補正光学系は、光源の出射光を集光または拡散する構成要素を、該出射光の光軸上に複数個配置して構成され、これら構成要素のうち少なくとも一つが、上記光軸に対して傾斜可能、且つ上記光軸に直交する方向に移動可能に設けられていてもよい。

【0224】この場合、収差補正光学系を構成する少なくとも一つの構成要素が光軸に対して傾斜し、さらに光軸に直交する方向に移動することにより、対物レンズに照射される光源からの出射光の照射状態を調整することができるので、対物レンズの両面の中心軸の傾きやずれ、あるいは上記対物レンズの上記光記録媒体の記録面に対する傾きにより発生するコマ収差を補正することができるという効果を奏する。

【0225】また、上記収差補正光学系の構成要素の一つが、上記光軸方向に移動可能に設けられていてもよい。

【0226】それゆえ、収差補正光学系の一つの構成要素が光軸方向に移動することにより、対物レンズに照射される光源からの出射光の集光状態を調整することができるので、対物レンズ両面の間隔誤差や面精度により発生する球面収差を補正することができるという効果を奏する。

【0227】また、上記収差補正光学系は、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させることでコマ収差を補正した状態で、該収差補正光学系の構成要素の一つを上記光軸方向に移動させることで、球面収差を補正するようにしてもよい。

【0228】それゆえ、収差補正光学系では、コマ収差の補正は、球面収差の補正の前に行われることになる。

【0229】これにより、例えば、コマ収差の補正を、光ピックアップ装置の光記録再生装置等の機器への組み込み前に行うことで、光記録再生装置等の機器を使用する際には、球面収差のみを行えばよいので、コマ収差用の回路等の構成部材を機器内に設ける必要がない。したがって、機器の小型、軽量化を図ることができるという効果を奏する。

【0230】さらに、上記光源からの出射光が光記録媒体に反射した反射光に基づいて、コマ収差および球面収差を検出する収差検出手段と、上記収差検出手段により検出結果に基づいて、コマ収差を補正するように、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させ、球面収差を補正するように、構成要素の一つを上記光軸方向に移動させる構成要素駆動手段とを設けてもよい。

【0231】それゆえ、コマ収差および球面収差を検出して、この検出結果に基づいて、コマ収差を補正するよ

うに、構成要素を上記光軸に対して傾斜させると共に、上記光軸に直交する方向に移動させ、球面収差を補正するように、構成要素の一つを上記光軸方向に移動させるようになっているので、光ピックアップ装置を実際の光記録媒体に対する情報の記録・再生に使用している場合に、リアルタイムでコマ収差および球面収差を補正することができるという効果を奏する。

【0232】また、上記収差補正光学系は、構成要素として、2枚のレンズを貼り合わせた色消しレンズを含んでいてもよい。

【0233】それゆえ、対物レンズに入射する光の波長が変化しても、像点の移動が小さく、安定したサーボ信号と良い特性の読み出し信号を得ることができるという効果を奏する。

【0234】また、上記収差補正光学系は、構成要素として、回折光学素子を含んでいてもよい。

【0235】それゆえ、対物レンズに入射する光の波長が変化しても、像点の移動がほとんど無く、安定したサーボ信号と良い特性の読み出し信号を得ることができるという効果を奏する。

【0236】また、上記対物レンズは、1枚レンズの1群構成であってもよい。

【0237】それゆえ、従来の2枚組対物レンズに比較して、樹脂接合部を持たないことで、温度変化、湿度変化、経時変化に強く、高い信頼性を持つ。また、組立工程がないことから、生産性に優れローコスト化が容易である。また、対物レンズを小型・軽量にかつ剛性高く構成することができるので、高密度記録再生を高速で行うことができるという効果を奏する。

【0238】さらに、上記対物レンズは、2枚レンズを接合した1群構成であってもよい。

【0239】この場合、色収差を低減しかつ温度変化、湿度変化、経時変化に強く、高い信頼性を持ち、高密度記録再生を高速で行うことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る光ピックアップ装置の概略構成図である。

【図2】本発明の実施の形態で用いる光記録媒体の概略断面図である。

【図3】図1に示す光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の概略構成図である。

【図4】図1に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの厚さ誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図5】図1に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの面チルト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図6】図1に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの面シフト誤差と収

差特性の関係を表すグラフである。

【図 7】図 1 に示す光ピックアップ装置における光記録媒体の傾きにより補正した場合の対物レンズの面チルト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 8】図 1 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系の駆動機構を示す説明図である。

【図 9】図 1 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系におけるコマ収差を補正するための装置を示す説明図である。

【図 10】図 9 でコマ収差が補正された状態の光ピックアップ装置を示す概略構成図である。

【図 11】本実施の形態の実施例に係る光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【図 12】本実施の形態の他の実施例に係る光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【図 13】本実施の形態のさらに他の実施例に係る光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【図 14】本実施の形態のさらに他の実施例に係る光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【図 15】本発明の他の実施の形態に係る光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【図 16】図 15 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの厚さ誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 17】図 15 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの面チルト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 18】図 15 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの面シフト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 19】図 15 に示す光ピックアップ装置における光記録媒体の傾きにより補正した場合の対物レンズの面チルト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 20】本発明のさらに他の実施の形態に係る光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【図 21】図 20 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系に備えられた収差補正ホログラムレンズの概略断面図である。

【図 22】図 20 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの厚さ誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 23】図 20 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの面チルト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 24】図 20 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系により補正した場合の対物レンズの面シフト誤差

と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 25】図 20 に示す光ピックアップ装置における光記録媒体の傾きにより補正した場合の対物レンズの面チルト誤差と収差特性の関係を表すグラフである。

【図 26】図 20 に示す光ピックアップ装置の収差補正光学系に備えられた収差補正ホログラムレンズの他の例を示す説明図である。

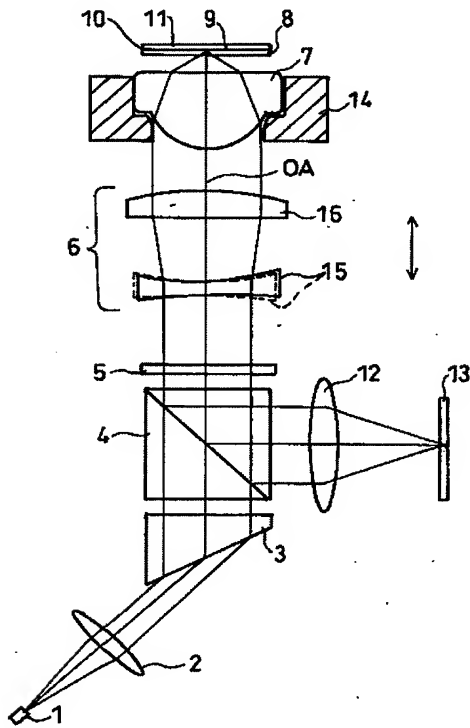
【図 27】従来の光ピックアップ装置の対物レンズと収差補正光学系の構成図である。

【符号の説明】

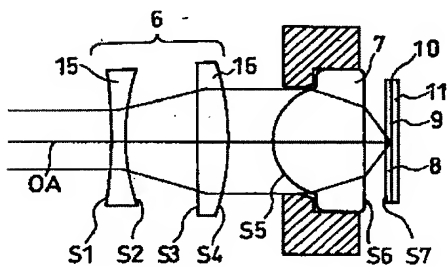
- 1 LD
- 2 コリメータレンズ
- 3 整形プリズム
- 4 偏光ビームスプリッタ
- 5 1/4 波長板
- 6 収差補正光学系
- 7 対物レンズ
- 8 光透過層
- 9 記録面
- 10 光記録媒体
- 11 基板
- 12 集光レンズ
- 13 受光部
- 14 レンズホルダー
- 15 収差補正第 1 レンズ (構成要素)
- 16 収差補正第 2 レンズ (構成要素)
- 20 収差補正光学系
- 21 対物レンズ
- 22 収差補正第 1 レンズ (構成要素)
- 23 収差補正第 2 レンズ (構成要素)
- 30 収差補正光学系
- 31 対物レンズ
- 32 収差補正第 1 レンズ (構成要素)
- 33 収差補正第 2 レンズ (構成要素)
- 40 収差補正光学系
- 41 対物レンズ
- 42 収差補正第 1 レンズ (構成要素)
- 43 収差補正第 2 レンズ (構成要素)
- 50 収差補正光学系
- 51 対物レンズ
- 52 収差補正第 1 レンズ (構成要素)
- 53 収差補正第 2 レンズ (構成要素)
- 60 収差補正光学系
- 61 対物レンズ
- 62 収差補正第 1 レンズ (構成要素)
- 63 収差補正第 2 レンズ (構成要素)
- 70 収差補正光学系
- 71 対物レンズ
- 72 収差補正レンズ (構成要素)
- 73 収差補正ホログラムレンズ (構成要素)

- 151 アクチュエータ（構成要素駆動手段）
 152 アクチュエータ（構成要素駆動手段）
 156 コマ収差補正回路

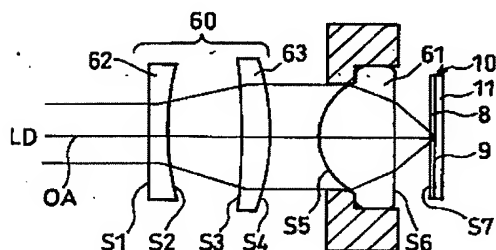
【図1】



【図3】



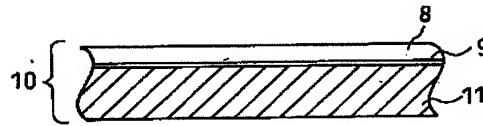
【図15】



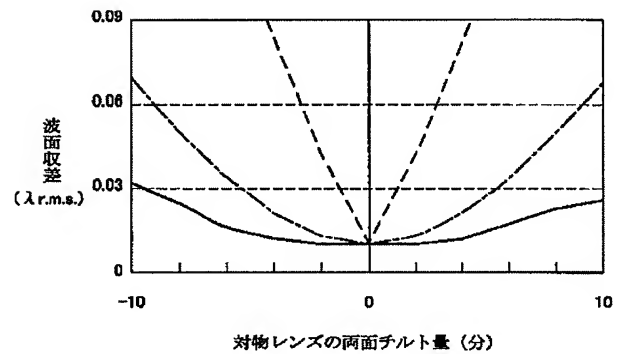
- * 157 球面収差補正回路
 158 R F 信号処理回路（収差検出手段）

*

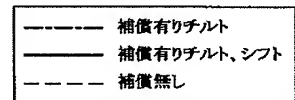
【図2】



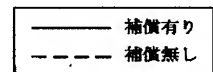
【図5】



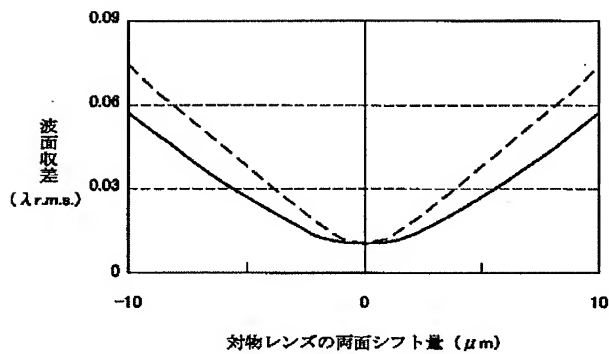
対物レンズの両面チルト量（分）



対物レンズ厚誤差（μm）

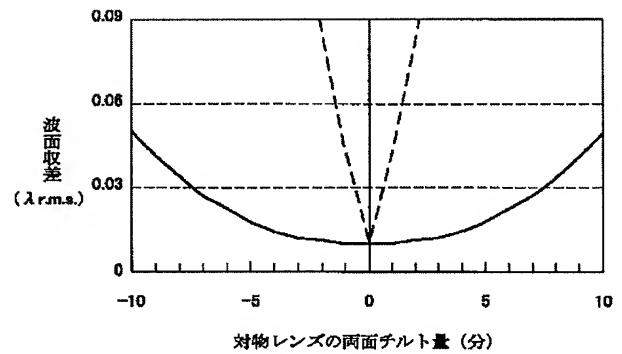


【図6】



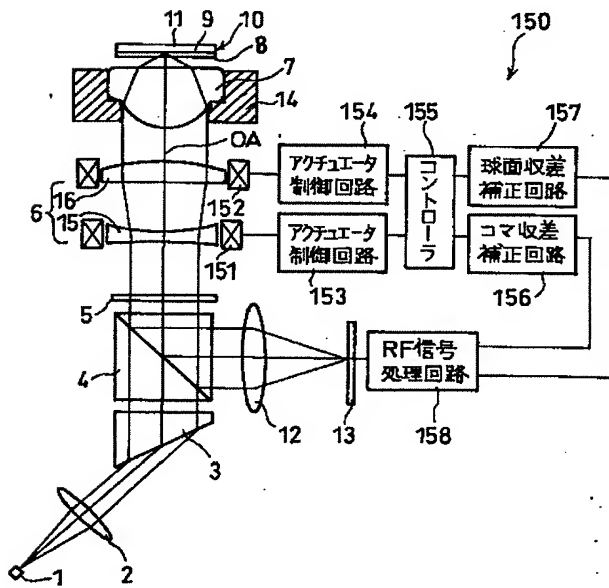
—— 補償有りチルト、シフト
 - - - 補償無し

【図7】

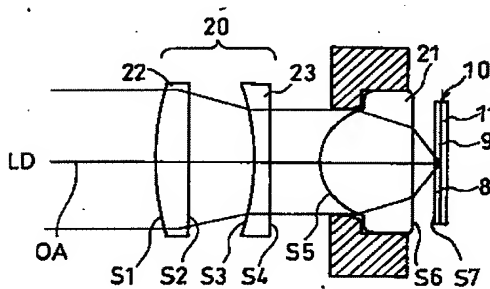


—— 補償有り
 - - - 補償無し

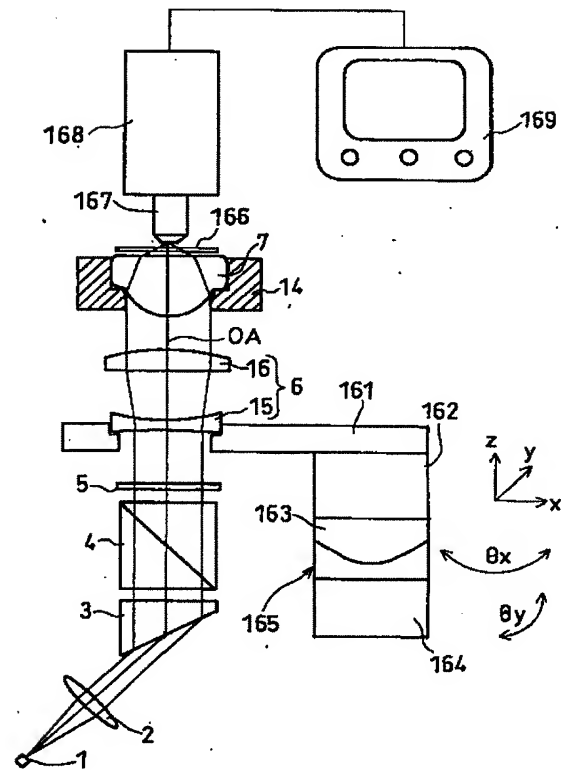
【図8】



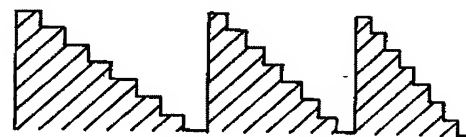
【図11】



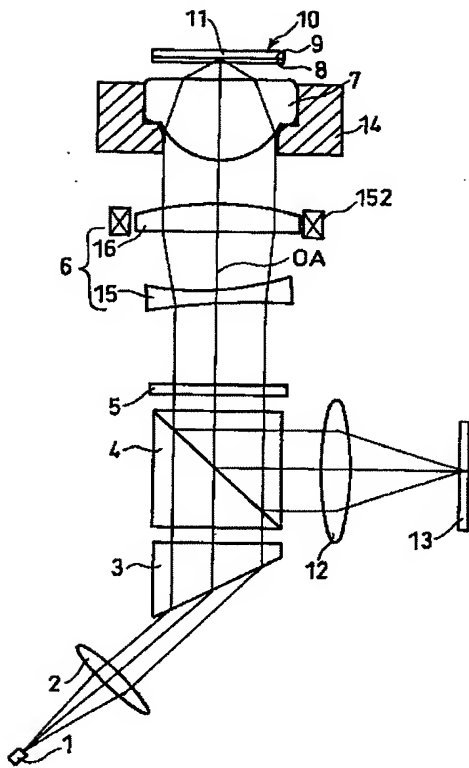
【図9】



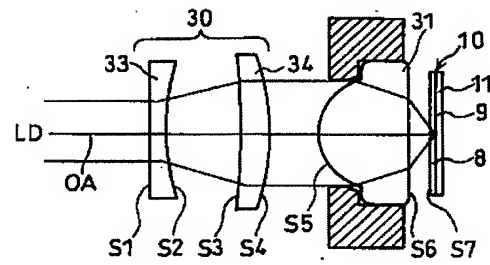
【図26】



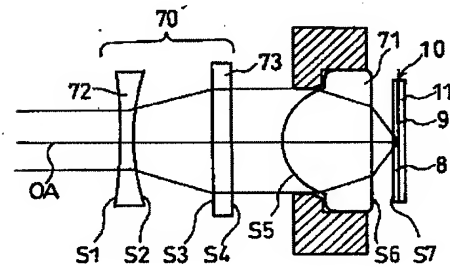
【図10】



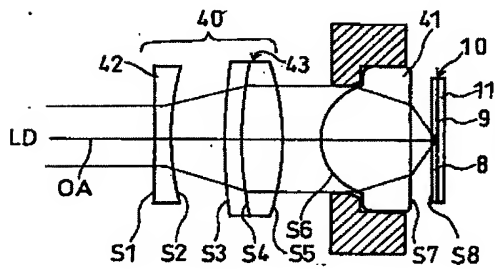
【図12】



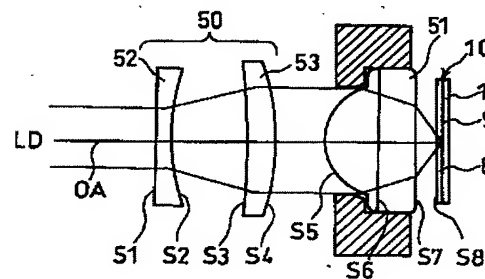
【図20】



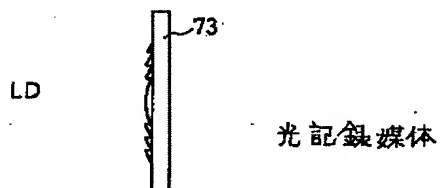
【図13】



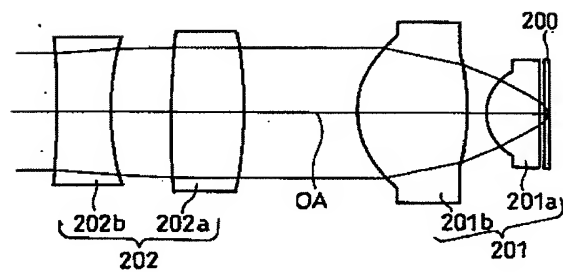
【図14】



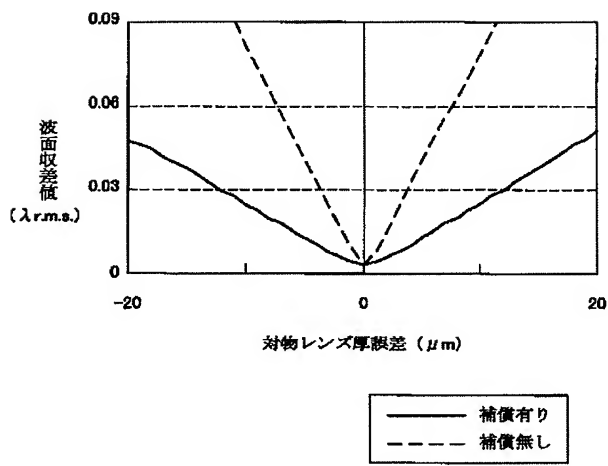
【図21】



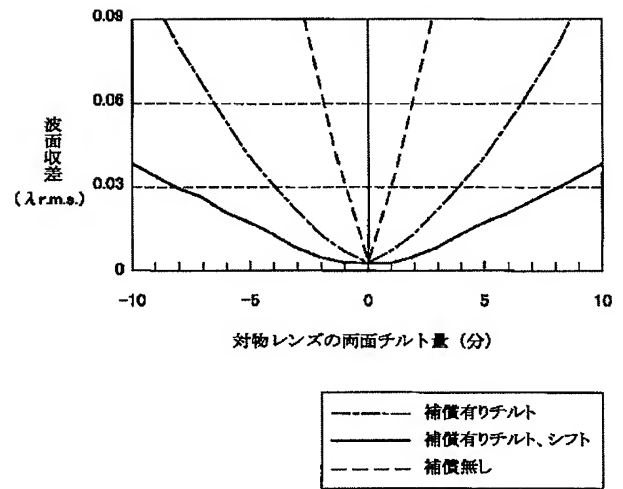
【図27】



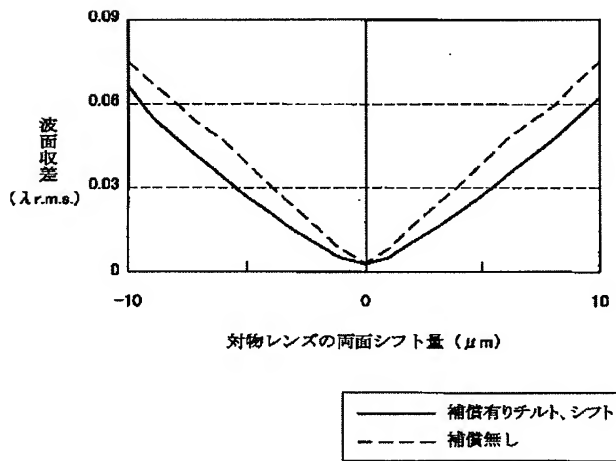
【図16】



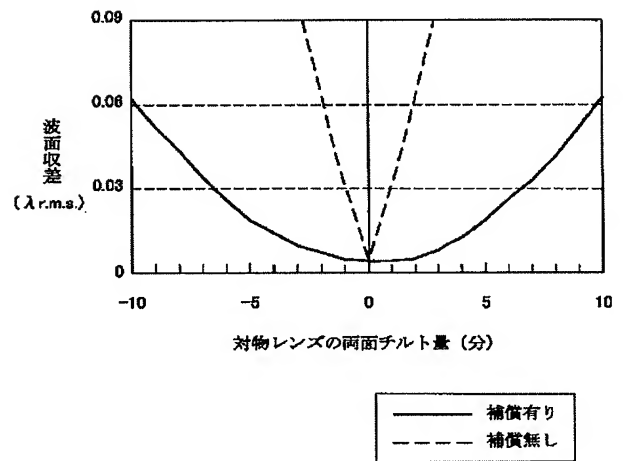
【図17】



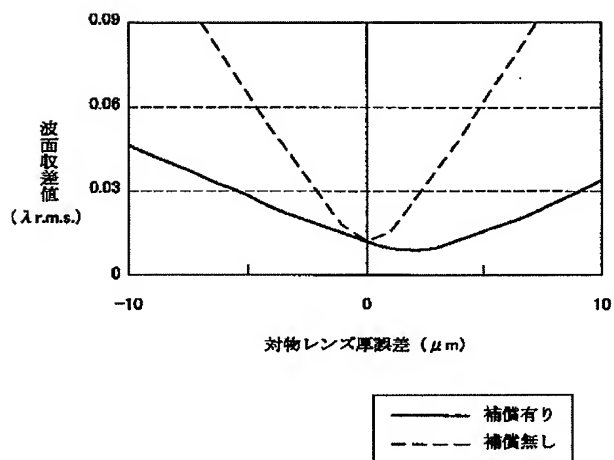
【図18】



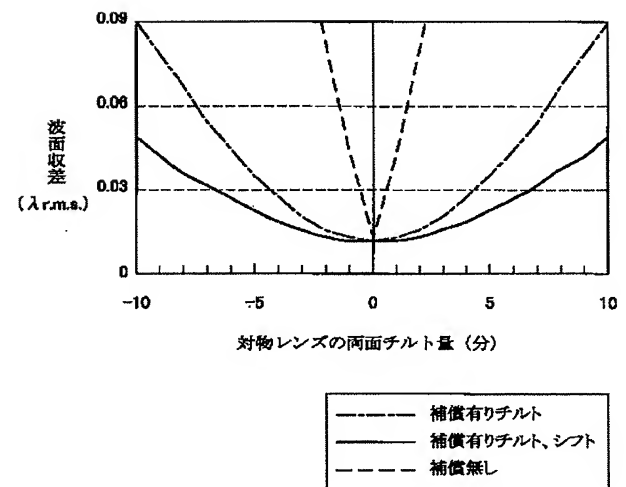
【図19】



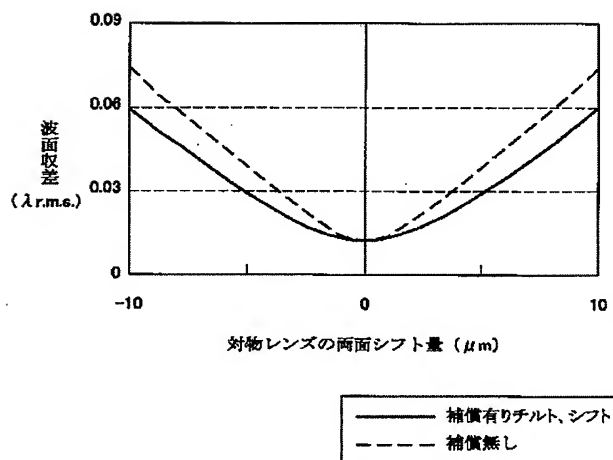
【図22】



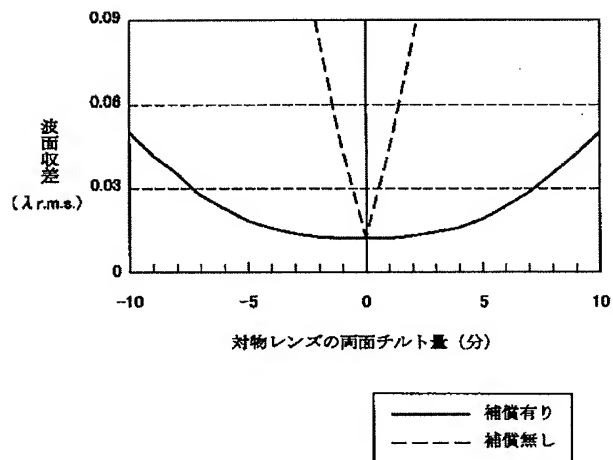
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H087 KA13 LA01 NA01 PA03 PA17
 PA18 PB03 PB04 QA02 QA03
 QA06 QA07 QA13 QA19 QA21
 QA22 QA25 QA32 QA33 QA34
 QA41 QA42 QA45 QA46 RA04
 RA05 RA12 RA13 RA32 RA41
 RA44 RA45 RA46 RA47
 5D118 AA13 BA01 BB02 BF02 BF03
 CD02 CD03 CD04 CD08 DC03
 DC04 EA01
 5D119 AA12 BA01 EC01 EC04 JA09
 JA44